



MEMOIRE DE RECHERCHE

Présenté

Devant l'UNIVERSITE DE LA REUNION

Par

Victor DUFFOURC



Directeur de mémoire : M. Michel DIMOU, UFR SHE

Co-directeur de mémoire : M. Jean-Philippe DEGUINE, CIRAD

Aménagement et Biodiversité :

**Traits biologiques et facteurs
environnementaux associés à
l'organisation des communautés
animales et végétales le long d'un
gradient rural-urbain**

Soutenance le 25 Juin 2009

Si tu veux être heureux une heure, bois un verre ;

Si tu veux être heureux un jour, marie-toi ;

Si tu veux être heureux toute ta vie, fais-toi jardinier

Proverbe chinois

1. INTRODUCTION.....	9
2. CADRE D'ETUDE REUNIONNAIS ET ECOSYSTEMES URBAINS	15
2.1. LES FORMES URBANISEES A LA REUNION.....	15
<i>La Réunion.....</i>	<i>15</i>
<i>Urbanisation et la ruralité de l'île.....</i>	<i>15</i>
Communes, densité et bâti.....	16
Définition des villes à la Réunion	16
L'Occupation des Sols Réunionnais	16
Polarité centre et périphérie à la Réunion.....	18
2.2. ENTITES URBAINES	19
<i>Centre urbain.....</i>	<i>20</i>
<i>Secteur Rurbain.....</i>	<i>20</i>
<i>Secteur périphérique.....</i>	<i>20</i>
2.3. BIODIVERSITE	21
<i>Historique.....</i>	<i>21</i>
<i>Composition.....</i>	<i>22</i>
<i>Valeur de la biodiversité.....</i>	<i>23</i>
2.4. LES INDICATEURS DE LA BIODIVERSITE.....	26
<i>Historique.....</i>	<i>27</i>
<i>Pluralité typologique des indicateurs de biodiversité</i>	<i>28</i>
2.5. MESURE DE LA BIODIVERSITE	32
<i>Richesse spécifique.....</i>	<i>32</i>
<i>Equitabilité.....</i>	<i>33</i>
2.6. EXEMPLE D'INDICE PERMETTANT D'EVALUER LA BIODIVERSITE ET LES ECOSYSTEME.....	33
<i>Indice Simpson</i>	<i>33</i>
<i>Indice de Shannon-Weaver.....</i>	<i>34</i>
<i>Indice de diversité de Hill</i>	<i>34</i>
2.7. BIODIVERSITE ET URBANISATION.....	35
<i>Historique.....</i>	<i>35</i>
<i>Impact de l'homme sur la faune et la flore.....</i>	<i>37</i>
<i>Les jardins.....</i>	<i>39</i>
<i>Les espèces exotiques envahissantes (EEE).....</i>	<i>41</i>
Sémantiques.....	41
Description de ces envahisseurs.....	42
<i>Les invasions</i>	<i>44</i>
Phénomène naturel et anthropique.....	44
Les Invasions biologiques	45
<i>Paysage écologie et circulation d'espèces.....</i>	<i>46</i>
3. MODELE REUNIONNAIS	49
3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	49
3.2. NOUVEAU ENJEUX DE CETTE BIODIVERSITE URBAINE	50
3.3. PERTINENCE DU SUJET D'ETUDE.....	52
3.4. ANALYSE DES ECOSYSTEMES	52
<i>Études complémentaires</i>	<i>53</i>
<i>Hypothèses et problématiques.....</i>	<i>54</i>
3.5. GRADIENT D'URBANISATION	55
<i>Zones étudiées</i>	<i>55</i>
Choix des zones étudiées.....	55
Saint-Pierre	56
L'Entre-Deux.....	56
Justification de ce choix.....	57
3.6. CHOIX DES MODELES ET DU SITE	59
<i>Hiérarchisation des entités urbaines.</i>	<i>59</i>

<i>Analyse de la biodiversité</i>	60
<i>Les jardins</i>	66
3.7. PROJET DE THESE	66
<i>Cadre d'étude</i>	66
<i>Problématique</i>	67
<i>Hypothèses</i>	68
<i>Méthodologie</i>	69
4. CONCLUSION	71
5. BIBLIOGRAPHIE	74
5.1. LISTE DES ANNEXES :	82
<i>Annexe 1 : Biens et services de la biodiversité</i>	83
<i>Annexe 2 : classement décroissant des 12 premières branches d'activités des 62 en fonction de leur dépendance globale directe au monde vivant</i>	84

Table des figures

Figure 1: Occupation du sol Réunionnais	17
Figure 1: centralité et périphérie à la Réunion, source : Jauze, 1998	18
Figure 2 entités urbaines de Saint-Pierre	20
Figure 3: Valeurs de la biodiversités	23
Figure 4: principales causes d'extinction d'espèces animales depuis 1600. (d'après Groombridge et al., op.cit.,1992,p 199).....	35
Figure 5 : schéma illustrant l'installation d'une espèces exotiques dans un milieu (Pascal et al., 2003)	42
Figure 5: temps et données.....	54
Figure 6 cliché de saint pierre, source: google earth	55
Figure 7 cliché de l'Entre-Deux, source: google earth.....	55
Figure 8: carte du gradient d'urbanisation de Saint-Pierre (source google earth).....	56
Figure 9: densité des populations dans les trois régions étudiées.....	57
Figure 10: occupation du sol dans les trois régions étudiées.....	57
Figure 11: photo de bousier source 1	60
Figure 12: photo d'une <i>Apis mellifera</i> (source 1)	61

Remerciements

Alors avant toutes choses, j'aimerais remercier Michel Dimou et Jean-Phillipe Deguine pour leurs conseils avisés, qui m'ont aidé à structurer mon travail et surtout m'ont accordé beaucoup de leurs temps libres.

Je désire remercier l'institution du CIRAD et celle de l'Université de la Réunion pour les moyens qu'elles m'ont accordé entre internet et les logiciels utilisés.

Je remercie mes parents, pour leur écoute, soit dit en passant d'un sujet qu'il ne les passionne pas forcément.

Un gros merci à Gaëlle qui m'a apporté une aide inconditionnelle (et pas toujours réciproque), qui m'a souvent été d'un grand secours dans les méandres de mes idées.

Je remercie aussi tous mes correcteurs, en particulier la Team Testac (Marianne, Marie et l'Oliv), et à la Team Étang Salé (Toon, Mj).

Merci à Fiona, pour ses conseils, ses corrections, ses idées, et son accent de Saint-Joseph.

Je remercie l'institution du pain composé et son directeur Stéf (dit Monsieur OPAIN) qui accueillait généreusement nos réunions mémoire recherche.

Je remercie ma petite équipe de travail (Lydia, Lucie, Emeric, Etno) qui en plus de m'aider à travailler, a eu l'art et la manière de rendre mes journées un peu plus ludiques.

Merci à Gregory du Muséum Nationale d'Histoire Naturelle qui a su voler à mon secours pour les infos sur les petites bêtes.

Je remercie Romu ! Pour sa bonne humeur et son aide quand j'en ai eu besoin !

Je ne sais pas si mon travail va être perçu comme un travail de qualité ou même s'il aboutira sur quelque chose mais grâce à vous, cela a été plus facile et plus agréable de la vivre. Sincèrement merci à tous pour votre soutien !

Résumé

Ce mémoire fait un état de l'art des études des écosystèmes dans les systèmes urbains. Il met en valeur les analogies entre les systèmes insulaires et les villes. Cette étude se focalise sur les homogénéisations de la faune et la flore en ville. Ce travail met donc en évidence le fait que l'activité humaine et les aménagements sont à la base de la composition des populations animales et végétales.

Ces études référencées permettent de conclure que l'activité humaine jouent un rôle sur les écosystèmes et ces écosystèmes apporteront des services à la sociétés.

Les impacts de l'activité humaine jouent donc par transitivity un rôle sur la société humaine via les écosystèmes. Cet impact est évalué sur le plan économique social et environnemental.

Le but de ce travail est de voir comment, tout le long d'une dilution urbaine, les infrastructures et l'activité influencent la composition des patrons d'organisation des écosystèmes.

En effet, cela induit que pour optimiser l'aménagement dans un contexte de développement durable, il est nécessaire de prendre en compte la biodiversité pour des raisons économiques, éthiques, juridiques, politiques, etc.

Néanmoins, pour mettre en place un aménagement qui prend en compte la biodiversité, il est important d'avoir une base de connaissance importante afin de limiter les risques de mauvaise décision et de crédibiliser les actions d'aménagements durables.

Ce mémoire, met en évidence la pertinence de La Réunion comme site d'étude. Effectivement, sa géomorphologie, son écologie, son insularité et son contexte politique ouvert à l'écologie font d'elle un excellent modèle d'étude.

Pour ce faire ce travail met en place un projet de thèse qui consiste à étudier la relation « Homme-Nature » en s'axant sur l'énergie et les infrastructures.

Le système urbain-périphérie étudié se situe dans le sud de la Réunion, il s'agit d'une dilution allant du centre ville de Saint-Pierre au Parc National des Hauts à l'Entre-Deux.

Introduction



1. Introduction

Depuis le paléolithique, les hommes ont démontré une certaine tendance générale à la grégarité via les premiers villages. Nous pouvons illustrer ce mode de vie en nous basant sur l'évolution qu'il y a eu entre les premières villes de 5000 habitants en Mésopotamie et Mexico qui dépasse les 30 millions d'habitants (Allègre, 1995). Ce mode de vie grégaire a été possible grâce à la première révolution technologique : l'agriculture. En effet, cette méthode a permis à l'homme de disposer d'une plus grande quantité d'énergie *per capita* dont ne disposaient pas les chasseurs cueilleurs du paléolithique (Ramade, 2002). Elle autorise à la fois des effectifs plus nombreux et une élévation du niveau de vie.

Ces espaces fortement « anthropisés » sont un lieu de confrontation entre l'homme et la nature. Cette confrontation peut entraîner des interactions spécifiques différentes en fonction du type des aménagements humains et des écosystèmes présents sur ces milieux.

Dans l'histoire occidentale des deux derniers siècles, comme dans celle des régions du Sud depuis 50 ans, les transitions démographiques, liant fécondité, mortalité, nuptialité et mobilité, se sont déroulées parallèlement à un processus d'urbanisation dans l'ensemble très rapide (Tabutin, 2000). Une véritable « révolution urbaine » pourrait-on dire que vient de vivre et vit l'humanité (Tabutin, 2000). L'urbanisation est un processus consistant en la mise en place, au détriment d'espaces à caractères naturels ou agricoles, de structures anthropiques telles que le bâti ou la voirie, et ayant pour but de répondre aux seuls besoins des populations humaines (Germaine et Wakeling, 2001, McKinney, 2006). Ces infrastructures possèdent deux caractéristiques. La première est qu'elles sont permanentes. En effet, elles sont construites pour durer et la demande foncière est si forte qu'il est difficilement concevable d'envisager une restauration en ville (Blair 1996, Ormerod 2003, et Croci 2007). La seconde caractéristique illustre le fait que les constructions en ville sont généralement faites par l'homme et uniquement pour l'homme sans pour autant avoir une stratégie ou une méthode pour la nature urbaine (Croci, 2007).

Néanmoins, malgré ce manque d'aménagement « écologique » et une forte empreinte de l'homme, nous avons pu constater qu'il y a de véritables écosystèmes en ville. En effet, cette étroite relation entre la nature et l'homme induit une nature qui condense des particularités qui

la différencient de celle aux alentours (Prévot Juliard et Servais, 2003).

De plus, l'urbanisation n'est pas l'unique forme d'anthropisation que peut rencontrer la nature. En effet, après 10 000 ans d'histoire, l'agriculture est devenue une activité primordiale pour l'homme et son environnement. 35% de la surface terrestre a déjà été convertie à l'agriculture (Gundimeda et Sukhdev, 2008). En 2050, les estimations prédisent que la population humaine sera de l'ordre de 9 milliards d'habitants. Ainsi, selon Norman E. Borlaug Prix Nobel de la Paix en 1970, nourrir le monde en 2025 suppose au moins de doubler la production actuelle¹. Cela induit que l'agriculture intensive risque de devenir de plus en plus importante ainsi que son impact sur l'environnement (pollution de la nappe phréatique, érosion de la biodiversité, changement des paysages, impacts sur la santé, etc.), engendré par une utilisation accrue des produits phytosanitaires afin d'augmenter les rendements des cultures.

Les villes et les espaces agricoles ne sont pas dénués, malgré leur certaine « insularité », de processus écologique. En effet, de nombreux auteurs se sont intéressés à l'impact de la fragmentation sur les écosystèmes, notamment les forêts reliques aux milieux des zones urbanisée ou des milieux agricoles. En s'inspirant de la théorie des îles biogéographiques de Mac Arthur et Wilson (1967), certains auteurs ont comparé ces écosystèmes urbains à des îles océaniques ; les écosystèmes insulaires sont particulièrement riches et diversifiés, formant des cortèges floristiques reproductibles d'un espace à un autre.

La communauté scientifique reconnaît les villes comme des écosystèmes à part entière. Néanmoins, dans un phase de prise de conscience que traverse actuellement la communauté internationale, il serait judicieux de savoir si le système urbain est un système durable. Il est possible de voir l'apparition de nouvelles normes de construction (HQE) ou de nouvelles formes d'énergie (la bagasse à La Réunion), cependant, ce sont les interactions entre les êtres vivants qui sont à la base de la durabilité d'un système.

La problématique urbaine actuelle, et le but de ce travail, est d'analyser le comportement des écosystèmes au sein d'un système urbain.

L'analyse des écosystèmes urbains est une discipline relativement récente, elle apporte une nouvelle vision de la nature qui la rend plus proche de nous et notre activité. En effet, de nombreux auteurs regrettent la distance qu'il existe entre la nature et le public, alors que les villes offrent de nombreuses niches écologiques à différentes espèces (Prévot-Julliard et

1 <http://www.sdcma.org/docs/OGM-en-Afrique.pdf>

Servais, 2003). Etudier et mesurer ces écosystèmes peut être un moyen de transformer la ville en un lieu d'échange, de réconciliation, entre l'homme et la nature. Une nature spontanée et disponible est indispensable pour permettre une expérience concrète des individus avec la nature et donc une compréhension sensible de celle-ci par la société. La nature doit pouvoir exprimer ses potentialités, ce qui suppose que la société lui laisse suffisamment de marges de manœuvre. Il ne s'agit pas seulement de conserver la nature du passé, mais de permettre la nature du futur en prévoyant des espaces de développement dans les schémas d'aménagement (Wintz, 2005, Pour la biodiversité, manifeste pour une politique renouvelée du patrimoine naturel).

Présenter cette nature urbaine est aussi un moyen de donner de la crédibilité à une nouvelle forme de recherche et de conservation. Les systèmes urbains sont des systèmes socio-écologiques pour lesquels il faut mettre en œuvre un travail symbiotique entre les chercheurs en sciences humaines et les biologistes. Cette analyse et cette symbiose permettent à la fois d'évaluer l'impact des bâtis, animaux domestiques et de certaines de nos habitudes, mais aussi de pouvoir, sur un aspect plus social, travailler sur les interactions entre la nature, l'homme et l'urbanisme. Dans ce cas, cette interaction entre l'homme et la nature est importante pour l'homme. Elle agit sur la santé physique ou psychologique des populations urbaines.

Ce mémoire a pour objectif de présenter ce nouveau domaine de recherche écologique ainsi que les différents niveaux d'étude que ce domaine présente:

- Le premier niveau est une observation simpliste : il consiste à observer, évaluer et quantifier la biodiversité, ce qui permettra de voir les impacts que peut avoir cette nature en ville.
- Le deuxième niveau d'étude est une présentation d'une proposition de thèse qui a pour objectif de comprendre l'évolution que vont avoir ces écosystèmes le long du gradient d'urbanisation dans une région de La Réunion (centre ville, village, zone agricole, parc). Ce mémoire permet d'apporter une première pierre dans la compréhension du rôle de l'aménagement dans la structure des écosystèmes. De plus cette étude permet d'analyser la biodiversité des jardins réunionnais, afin de pouvoir évaluer l'impact des efforts de l'individu sur la faune et la flore au niveau de son jardin, et avec une échelle cumulée sur la toute la ville.
- Un troisième niveau via la proposition de thèse présente un protocole de comparaison plusieurs villes et leurs écosystèmes.

L'objectif de ce mémoire est à la fois d'accumuler de meilleures connaissances sur les écosystèmes urbains, mais mieux comprendre l'impact de la structure de la ville sur la nature. L'île de la Réunion donne à cette étude une dimension différente. En effet, il y a plusieurs raisons qui font que La Réunion serait un territoire intéressant pour réaliser cette étude :

Raison Géologique : La Réunion est une île, qui possède un relief fort, qui crée de nombreux microclimats. Il serait donc intéressant de voir si sa géomorphologie joue aussi sur les écosystèmes inféodés aux espaces anthropisés.

Raison Écologique : La Réunion, depuis 2000, fait partie des hot spot de biodiversité (Myers, 2000), elle a donc une certaine responsabilité (au moins éthique, de protéger sa biodiversité) aussi bien en ville qu'au sein du parc et de la réserve, étudier cette nature urbaine est un élément important pour sa conservation.

Raison Économique : les auteurs scientifiques font depuis quelques temps le constat du rôle important que jouent les écosystèmes dans l'économie humaine (Gundimeda et Sukhdev, 2008). Nous pouvons prendre l'exemple à la Réunion des coraux, ou des abeilles qui sont des espèces et qui sont des piliers de l'économie réunionnaise. Il serait pertinent d'évaluer les espèces présentes en ville et voir les services qu'elles peuvent apporter afin de favoriser la protection de ces dernières.

Raison Politique : en plus du Parc National et de la Réserve Nationale La Réunion montre son désir de préservation du patrimoine naturel. Sur un plan politique la France et La Réunion s'engagent actuellement dans le projet GERRI. Ce projet a pour but de faire de La Réunion un laboratoire de développement durable. La connaissance des interactions entre les écosystèmes et la forme d'urbanisation peut être intéressante pour une modélisation politique d'aménagement et pour la préservation de la faune et la flore urbaine.

Cette étude a pour objectif de contribuer à ce travail de recensement de la faune et flore urbaine, ainsi que d'appréhender les interactions entre l'homme et le reste du vivant qui sont nécessaires à un développement durable.

Pour ce faire, la première partie constitue un état des lieux bibliographique sur la question des interactions qu'il existe entre les écosystèmes et les villes ainsi que les agrosystèmes. Le cas de la Réunion sera particulièrement mis en avant. De plus, elle décrit aussi la biodiversité et les écosystèmes en ville. En outre, cette partie permettra de faire un petit état des lieux sur les connaissances en écologie urbaine.

La deuxième partie est une proposition de thèse, elle permet de mettre en valeur la manière

dont je m'engage via une thèse à réaliser un protocole adapté pour décrire comment mesurer, évaluer et comparer ces écosystèmes réunionnais en fonction de la forme urbaine.

La dernière partie de ce travail mettra en valeur les résultats attendus ainsi qu'une discussion.

Cadre d'étude réunionnais et écosystèmes urbains



2. Cadre d'étude réunionnais et écosystèmes urbains

2.1. Les formes urbanisées à La Réunion

La Réunion

L'Ile de la Réunion est un des départements d'Outre-mer situés dans l'océan indien à 900 km à l'Est au large de l'Ile de Madagascar. Elle constitue de par son statut à la fois une région et un département dont la préfecture est Saint-Denis de la Réunion. Le climat y est tropical océanique. L'île couvre 2558 km², avec dans sa plus grande largeur 53 km et sa plus grande longueur 70 km.

Cette île de l'archipel des Mascareignes est volcanique (volcanisme de point chaud), montagneuse, avec un point culminant à 3070 m (Piton des Neiges) et un deuxième sommet à 3019 m (Gros Morne). Le département est composé de deux massifs montagneux raccordés par une plaine (plaine des Cafres et plaine des Palmistes). Le massif du piton des Neiges est un ancien volcan aujourd'hui éteint dont les flancs sont partiellement évidés par trois complexes morphotectoniques (cirque de Cilaos, de Mafate et de Salazie) auxquels s'ajoute un quatrième entièrement comblé (forêt de Bebour et de Belouve). Au sud de la Plaine des Cafres, nous trouvons le massif du piton de la Fournaise (2632 m) composé de quatre caldeiras (rivière des rempart, Pas des sables, l'Enclos ou Pas de Bellecombe et enfin des cratères brûlants : Dolomieu et Bory). Cette île possède une utilisation de l'espace qui possède aussi des différences entre l'est et l'ouest ainsi que le littoral et les « hauts ».

Urbanisation et la ruralité de l'île

Afin de bien mettre en place l'étude de la corrélation entre les écosystèmes et la gestion des espaces, il serait intéressant de décrire et définir les aménagements réunionnais ainsi que leur localisation.

Communes, densité et bâti

Définition des villes à la Réunion

Le département de la Réunion est composé de 24 communes. La plus petite est Le Port et la plus grande Saint Paul. Si en 1998, J. M. Jauze observait que 65% de la population relevait de l'urbain (avec toutefois seulement 10 noyaux sur 85 qui pouvaient être considérés comme des villes), ce même calcul aboutit à un chiffre de 89% en 1999 (Jauze & Ninon 1999). Cette évolution si rapide pose, par conséquent, un redoutable problème de définition pour la ville. En effet, si l'on s'en tient au critère classique de l'INSEE considérant la ville comme un noyau de plus de 2000 habitants, le département se définit comme totalement urbain. De fait, on constate l'émergence de périphéries atypiques, sorte de mélange entre le périurbain et le suburbain (du reste les auteurs définissent la périurbanisation réunionnaise comme l'urbanisation de la périphérie des agglomérations sans qu'il n'y ait nécessairement de continuité).

L'Occupation des Sols Réunionnais

Lors de l'analyse du bâti de la Réunion nous pouvons observer une opposition entre l'Est et l'Ouest. En effet, Jauze précise dans son étude de 1998 que ce modèle dissymétrique est directement lié à l'histoire de l'île. Il s'agit de la conséquence directe du peuplement tardif et de la structure plus agricole (économie sucrière) de l'Est.

Du point de vue de la densité de population, il apparaît une certaine opposition entre les communes littorales de l'Ouest et de l'Est, et entre le littoral et les « hauts », mis à part la commune du Tampon. L'Est de la Réunion est moins urbanisé que l'Ouest (Enault, 2006).

Nous pouvons différencier les communes en fonction de leur altitude ; cette altitude va influencer l'utilisation des sols. Nous pouvons apprécier ces répartitions des activités grâce au tableau suivant :

nom	agricole ou vide	bâti	forêt	st	pop	densité
Bras panon	17,3	6,3	66,4	89,4	9671	107,5
Cilaos	13,2	6,7	64,11	84,06	6115	72,74
Entre-Deux	2,1	5,1	43,6	51,3	5167	100,6
Étang salé	11,02	10,2	20,34	41,54	11755	283
Plaine des Palmistes	7,4	8,2	68,7	84,4	3433	40,7
Possession	11,7	13,31	91,9	116,9	21883	187,1
Le Port	6,7	9,7	0	16,4	38367	2333,5
Le Tampon	66,8	49	71	187,5	60311	321,6
Les Avirons	3,6	8,3	15	27,7	7163	258,4
Petite île	13,1	15	7,6	35,8	10157	283,6
St André	24,7	22,3	9,2	56,2	43150	767,7
St Benoit	56	18,5	160,5	235	31331	133,3
St Denis	6,3	44,6	93,6	144,5	131649	910,9
St Joseph	40	28,3	114,3	182,6	30276	165,8
St Leu	39,9	23,3	59	122,1	25310	207,2
St Louis	29	22,7	51,6	103,7	43991	424,4
St Paul	77,9	61	106,5	245,2	87712	357,7
St Philippe	47,9	4,5	105,6	158	4858	30,7
St Pierre	52,2	29	9,1	90,2	69009	765,1
St Suzanne	29,1	12,3	19	60,4	18,137	300,5
Ste Mairie	27,5	18,5	45,4	91,4	26576	290,8
Ste Rose	58,2	5,4	119,1	182,7	6545	35,8
Salazie	6,6	12,6	87,7	106,9	7400	69,2
Trois bassin	9,5	8,2	25,9	43,6	6597	151,3
TOTAL	657,72	443,01	1455,15	2557,5	688444,137	8599,14
MOYENNE	27,405	18,45875	60,63125	106,5625	28685,17238	358,2975

occupation moyenne du sol Réunionnais

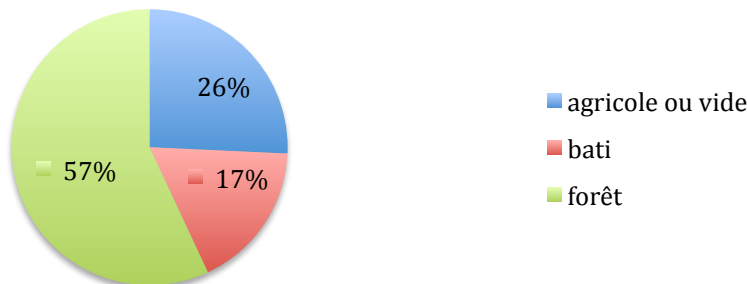


Figure 1: Occupation du sol Réunionnais

Il est possible de comparer 3 caractéristiques au niveau de cette occupation des espaces. En effet, pour évaluer la nature des espaces ce travail se base sur leur occupation du sol. La définition suivante sera

réfèrent dans ce travail pour définir les espaces :

« *L'espace rural – ou la campagne, les deux termes sont synonymes – se différencie de l'espace urbain par deux critères essentiels : un bâti discontinu laissant une place plus ou moins grande aux champs, voire à la friche et à la forêt; les densité maximales de quelques centaines d'habitants au km², souvent nettement moins* » (Diry, 2004). Nous partons donc sur la base qu'un espace rural est une région à faible densité, et possède un bâti faible. Cela nous permet d'exclure les zones administratives qui possèdent peu d'habitants mais beaucoup de bâtiments. Nous considérons qu'une zone est urbaine lorsqu'elle est dense et possède une grande quantité de bâtiments.

Polarité centre et périphérie à la Réunion.

La Réunion est marquée par une inversion des polarités. En effet, la partie centrale de l'île qui paraît comme le centre topographique, est sur le plan relationnel la « périphérie ». Elle paraît nettement dominée et dépendante de la région littorale. La périphérie topographique représente le centre, car il concentre dans son espace les personnes et les activités qui lui attribuent sa domination (Jauze, 1998).

L'analyse de l'armature urbaine réunionnaise révèle la présence d'un phénomène de bipolarisation de l'espace mis en valeur par les flux de travail, de loisirs, de consommation et de services à destination des principaux centres agglomérés (Jauze, 1998). Le premier, au nord, englobe la plus grande quantité de communes, autour de Saint Denis : il se compose de

la partie littorale entre Trois Bassins et le Grand Brulé, il englobe aussi Mafate, Salazie et la Plaine des Palmistes (Jauze 1998). Le second, qui occupe le Sud, est placé autour de Saint-Pierre centre d'attraction qui s'impose comme le centre régional d'équilibre et le seul capable de contre balancé Saint-Denis (Jauze 1998). Ce deuxième groupe va de Saint-Leu à Saint Philippe en englobant les autres parties des « Hauts ». Cette nouvelle division présente un second niveau de centralité : les

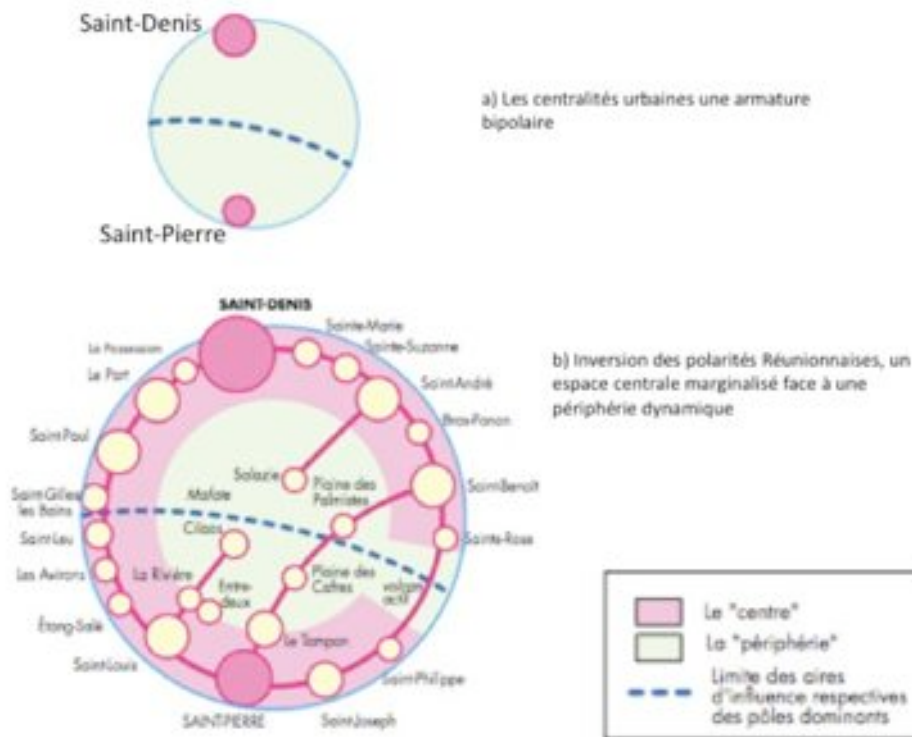


Figure 1: centralité et périphérie à la Réunion, source : Jauze, 1998

polarisations exercées respectivement par Saint-Denis et Saint Pierre font des autres communes des périphéries, même au seins de leurs centres (Jauze, 1998).

2.2. Entités urbaines

Les villes ne sont pas des territoires homogènes en termes de formes urbaines, de densité de population, et d'histoire. De réels contrastes existent sur leur surface. Une lecture dynamique de ces territoires permet généralement d'identifier 3 entités territoriales homogènes, caractérisées par des problématiques spécifiques :

Centre urbain

L'expression centre urbain recouvre une réalité complexe, composite et variable. Il est difficile de le définir selon la taille de la ville, son origine et le site primitif qui lui était lié ainsi que les vicissitudes de son développement et la diversité de ses fonctions. On ne peut donc pas donner une définition simple et rigoureuse du contenu de ce concept. En général, le centre urbain (ou cœur de ville) est la partie fondamentale de l'organisation urbaine : celle qui en assure l'activité (Merlin et Choay, 2005).

Néanmoins, il est rare que dans une ville la centralité soit unique et uniforme. Il peut y avoir des divergences entre le centre historique, touristique et patrimonial (Merlin et Choay, 2005).

L'étude du centre urbain considère surtout l'impact de la fréquentation humaine, l'intensité du transport, ainsi que les infrastructures (Merlin et Choay, 2005).

Secteur Rurbain

La rurbanisation est un néologisme qui désigne le processus d'urbanisation rampante de l'espace rural, d'imbrication des espaces ruraux et des zones urbanisées périphériques. Ce terme doit être distingué de la suburbanisation qui est le développement continu de l'espace autour des villes. Ces notions diffèrent aussi de la périurbanisation qui désigne l'urbanisation continue aux franges des agglomérations (Merlin et Choay, 2005).

La rurbanisation est certes, liée à la croissance urbaine et dépendante de la ville (ou d'un ensemble de villes proches), mais elle s'organise autour des noyaux de l'habitat rural, sans créer un nouveau tissu continu. Ce concept illustre mieux la problématique de dilution urbaine saint-pierroise, avec l'ensemble « Ligne Paradis », « Bois d'Olive », et « Ravine des Cabris » qui ne suivent pas un gradient progressif et continu.

Secteur périphérique

La région située à quelque distance autour d'un centre ne peut se définir que par rapport à lui, de même, le centre n'est identifié qu'en le distinguant d'autres lieux qui sont des périphéries. Ces dénominations identifient une relation d'interaction (boucle de rétroaction positive) qui entretient une l'inégalité entre les lieux. En effet, le centre va dominer en activité économique et en densité (humaine et infrastructure) (Pumain et *al.*, 2006).

Il correspond aussi au dernier secteur du gradient. Il s'agit de la zone concentrique externe à la ville et juxtaposée au secteur Rurbain.

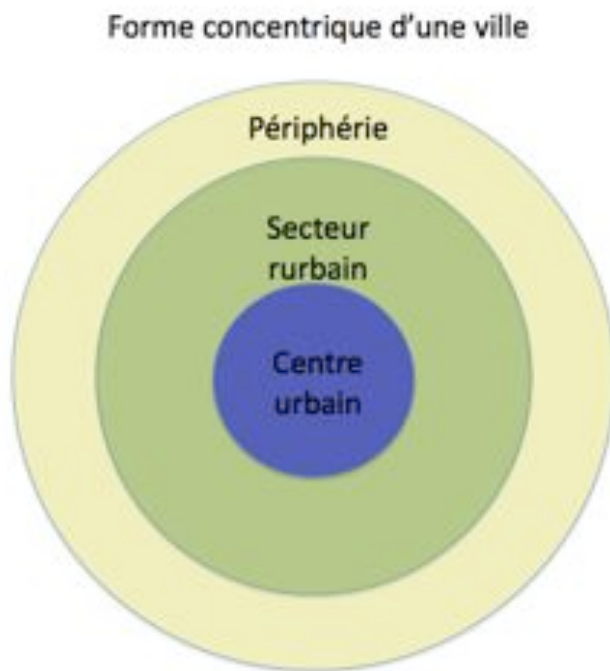


Figure 2 entités urbaines de Saint-Pierre

2.3. Biodiversité

Historique

Le terme biodiversité est un néologisme apparu au début des années 1980 au sein de l'alliance mondiale pour la Nature (UICN). Il a fallu toutefois attendre la conférence de Rio sur l'environnement et le développement, organisée par les Nations Unies en 1992, pour que le terme soit largement vulgarisé. Il désigne, lorsqu'il est pris au sens le plus simple, la variété des espèces vivantes qui peuplent la biosphère.

Composition

Nous pouvons approfondir ce concept avec la définition suivante : « *la diversité biologique englobe l'ensemble des espèces de plantes, d'animaux et de micro-organismes ainsi que les écosystèmes et les processus écologiques dont ils sont l'un des éléments, c'est un terme général qui désigne le degré de variété naturelle incluant à la fois le nombre de fréquences des écosystèmes, des espèces et des gènes dans un ensemble donné* » (Mc Nelly (UICN), 1990). Effectivement, la biodiversité ne nomme pas un concept général et unique, mais plutôt

un ensemble de concepts d'autant plus complexes qu'ils peuvent être appréhendés à différents niveaux (gènes, espèces, habitats, écosystèmes, etc), à différentes échelles géographiques ou à différentes périodes. L'ensemble se prête mal à une présentation générale et unifiée. Le terme biodiversité concerne le plus souvent la diversité en terme d'espèces d'un écosystème. On peut bien évidemment s'intéresser à d'autres niveaux et d'autres objets, par exemple la diversité des communautés et des écosystèmes à l'intérieur d'une population. L'organisation de quelques différents objets qui constituent la biodiversité est

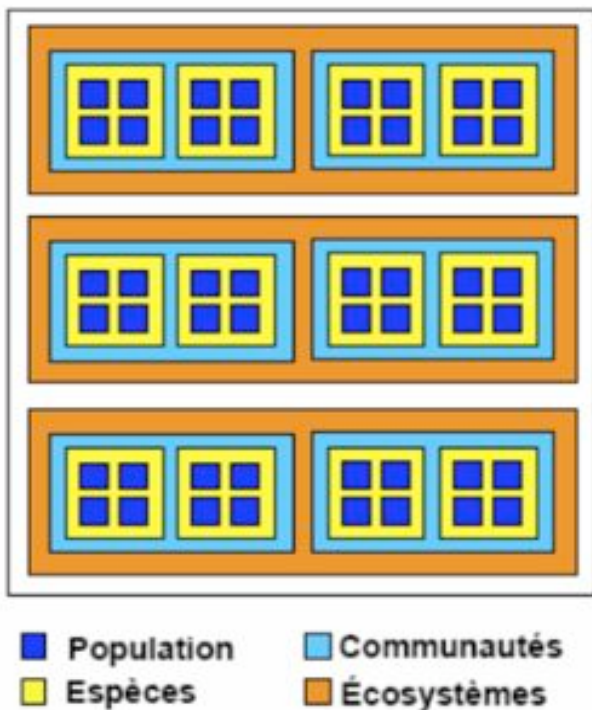


Figure 4: emboîtement des objets d'étude de la biodiversité source ¹

représentée dans la figure 1.

Depuis 2000, La Réunion est un hot spot de biodiversité (Myers, 2000), possédant de nombreux écosystèmes insulaires, plus fragiles que les continentaux. Conscients de cette fragilité, les différents organismes politiques ont mis en place dernièrement un parc national et une réserve.

¹ <http://simulium.bio.uottawa.ca/bio3515/pdf/presentations/02-Biodiversite.pdf>

Valeur de la biodiversité

L'importance de la biodiversité pour la société fait clairement consensus dans la communauté scientifique, bien que subsistent des difficultés à évaluer avec précision la diversité biologique. Elle possède une valeur aussi bien économique, sociale, environnementale, etc. La biodiversité est une dimension essentielle du vivant.

La planète connaît aujourd'hui une forte érosion de la biodiversité due à certaines des activités humaines. L'évaluation et les caractéristiques de cette valeur se posent. La biodiversité possède de la valeur pour l'homme car elle fournit des services. Ces services peuvent être définis comme le bienfait que retirent les gens des écosystèmes, tels que les denrées, ingrédients pharmaceutiques, loisirs, etc.

Nous pouvons décomposer la valeur de la biodiversité en 6 points (Lescuyer, 2004) :

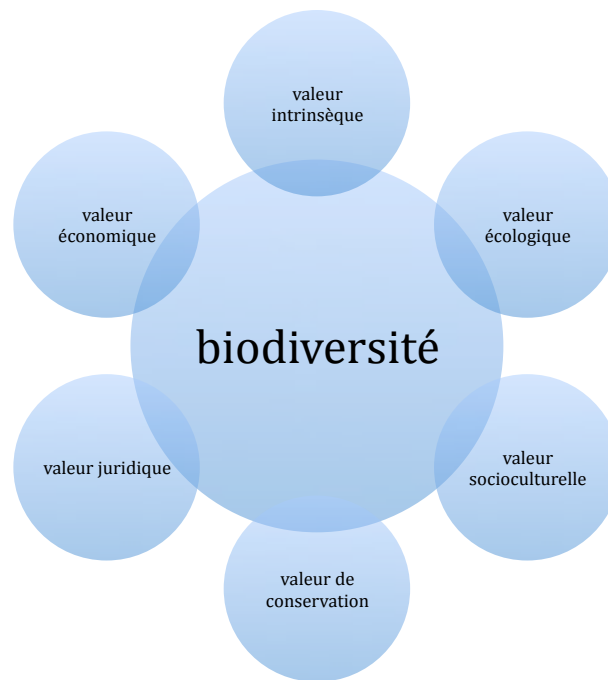


Figure 3: Valeurs de la biodiversités

La valeur intrinsèque, est une valeur qui ne dépend pas des services que peut rendre la biodiversité, mais bel et bien de sa valeur en tant qu'ensemble d'êtres vivants. Cette valeur basée principalement sur l'éthique, représente la responsabilité de protéger la nature (Lescuyer, 2004).

La valeur écologique, représente la participation de la biodiversité dans la résilience et la stabilité des systèmes naturels. De plus elle constitue un ensemble de ressources biologiques utilisées directement par le système humain. En effet, elle participe au maintien des processus vitaux pour l'homme (photosynthèse, nourriture, etc.), en constituant le degré de variabilité et de connectivité des organismes vivants (Lescuyer, 2004).

La valeur socio-culturelle peut se voir dans le fait que les relations entre l'homme et la biodiversité constitue un élément essentiel de la fondation et du fonctionnement de la société. Des éléments de la biodiversité peuvent participer au patrimoine collectif et individuel. Effectivement, cette biodiversité peut jouer un rôle d'identification et de cohésion pour les groupes sociaux. Une perte de cette biodiversité peut entraîner une régression du capital symbolique et entraîner une déstructuration des relations sociales (Lescuyer, 2004).

Les Valeurs de conservation traduisent l'intérêt de conserver un élément de la diversité biologique. Il est possible de citer plusieurs critères qui définissent cet intérêt de conservation (Lescuyer, 2004) :

- Diversité spécifique
- Rareté
- Exposition aux menaces
- Intérêt patrimonial

Concernant la valeur juridique, la communauté internationale a prit récemment conscience de l'importance de la biodiversité. La convention de Rio illustre bien cette ligne de conduite : Cette Convention sur la diversité biologique, ratifiée en 2002 par plus de 180 pays, possède deux objectifs : d'une part, définir et appliquer des mesures incitatives pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité et, d'autre part, mettre en place des mécanismes et des instruments permettant l'accès aux ressources génétiques et le partage « juste et équitable » des avantages qui en sont retirés.

En France, la protection de la Nature repose sur une seule technique juridique : un texte pose des interdictions ; des administrations en vérifient le respect ; des sanctions frappent les contrevenants. Les résultats atteints et la reprise de cette technique par des textes internationaux, notamment communautaires, leur donnent une grande crédibilité.

Il est à noter que selon certains auteurs il existe quand même un trop plein juridique qui fait que les autorités administratives écoutent plus souvent les associations de chasse et d'agriculture.

Enfin, la valeur économique est difficile à définir sur un plan quantitatif car pas tous les services de la biodiversité ne peuvent être estimés sur le plan monétaire. Une partie des services des écosystèmes peut être évaluée, en raison des limites actuelles à notre compréhension des fonctions écologiques ainsi que de nos outils économiques. En général, les valeurs estimées provenant des études de cas ne prennent en compte que certains bénéfices.

Cependant, l'évaluation économique est une approche utile pour mesurer la contribution de la biodiversité et des services écosystémiques à la qualité de vie, elle permet également de mieux comprendre les choix qui existent entre différentes possibilités d'utilisation des écosystèmes. De plus, il est à souligner que de nombreuses entreprises sont dépendantes de la

biodiversité et du bon fonctionnement des écosystèmes (Cf. annexe 2). En effet, en agriculture, l'impact économique de la diminution des pollinisateurs a été étudiée (Gallai et *al.*, 2008). Cette étude cherche à déterminer quelle est l'ampleur de cette diminution. Sur une base écologique et géographique, ce travail démontre qu'il existe un ratio de dépendance vis-à-vis des insectes pour chacune des 100 principales cultures contribuant à l'alimentation humaine. Il devient ainsi possible grâce aux données de la FAO, de calculer le volume, puis la valeur des pertes des récoltes qu'entraînerait cette diminution démographique des pollinisateurs. Cette étude met en valeur que sur le plan économique, la valeur totale du service de pollinisation revient à 159 milliards d'euros. Rapportée à la valeur totale de la production cela représente 9,5 % en 2005, ce qui peut s'interpréter comme un ratio de vulnérabilité de la base alimentaire mondiale.

2.4. Les indicateurs de la biodiversité

En 2010, les états du monde vont devoir faire un bilan de leur gestion et conservation de la biodiversité dans le cadre de la Convention de la Diversité Biologique à Rio en 1992. Pour ce faire, il est nécessaire d'utiliser des outils de suivi. C'est à ce niveau qu'interviennent les indicateurs de biodiversité. En effet, ces indicateurs sont des outils polymorphes qui permettent de répondre aussi bien aux questions politiques que scientifiques, ils s'imposent comme le meilleur moyen de suivre l'évolution des populations biologiques.

Alain Desrosières, statisticien, sociologue et administrateur de l'INSEE, avance que l'avantage des indicateurs, comparé aux autres outils d'évaluation, est qu'ils possèdent la particularité de « disjoindre le signifiant et le signifié ». En effet, il n'existe pas de mesure du développement durable ou de la biodiversité, mais il est admis qu'il existe des indicateurs de développement durable ou de la biodiversité. Ainsi l'indicateur respecte les espaces d'incertitude que la mesure ne tolère pas. Ces outils sont effectivement un moyen d'évaluer des données qu'il est trop coûteux de mesurer directement.

Historique

Depuis la conférence de Rio en 1992, des programmes de mise en place d'indicateurs de biodiversité ont été développés par de nombreux organismes. Ces programmes peuvent se distinguer selon deux catégories.

La première regroupe ceux qui ont pour principale préoccupation la biodiversité et qui cherchent à développer les meilleurs indicateurs pour suivre les avancées concernant sa conservation.

La seconde regroupe les programmes de suivi de la biodiversité qui s'insèrent dans des dispositifs plus vastes, relatifs notamment au développement durable.

La première date importante est évidemment celle de la Conférence de Rio au cours de laquelle la CDB est adoptée (CDB, 1992). Il faut ensuite attendre la Conférence de Johannesburg en 2002 pour qu'un objectif et une échéance soient fixés : réduire de manière significative le taux d'érosion de la biodiversité d'ici 2010. Pour que cet engagement ne reste pas lettre morte, il est nécessaire que soient évalués les efforts réalisés par les pays. C'est pour cette raison que les premiers indicateurs de la CDB sont établis en février 2004 lors de la septième Conférence des Parties qui a eu lieu à Kuala Lumpur.

Dans le même temps, la Commission européenne a lancé une réflexion sur les indicateurs de biodiversité (2002-2004). Elle a conduit à la Conférence de Malahide (Irlande) en mai 2004 qui est la première conférence sur la biodiversité où tous les membres de l'UE sont représentés avec les Directions générales de l'environnement et de l'agriculture. Une des principales recommandations de la réunion est la suivante : « Develop, test and evaluate indicators, and harmonise habitat and landscape classifications, to deliver policy-relevant information on the status and trends of biodiversity, the drivers of biodiversity change and the success of policies designed to halt the loss of biodiversity by 2010, and progress towards targets of the EC Biodiversity Strategy » (Commission européenne, 2004, p.42). Cette conférence va se traduire politiquement par une prise de conscience importante de la question de la biodiversité. Ainsi, en juin 2004, les ministres de l'environnement de l'UE valident les objectifs fixés par la conférence qui a eu lieu un mois plus tôt. Cela crée une forte pression pour mettre en place des indicateurs de biodiversité. En France, une Stratégie nationale pour la Biodiversité est adoptée elle aussi en 2004 (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004) et fixe comme premier objectif de mettre en place des indicateurs de

biodiversité permettant de suivre les avancées dans le domaine des politiques de conservation à l'horizon 2010.

Pluralité typologique des indicateurs de biodiversité

La biodiversité est un domaine qui possède déjà plusieurs niveaux d'études (génétique, individu, population, écosystème,...), l'étude de ces indicateurs doit permettre l'intégration de ces différents niveaux. C'est pour cette raison qu'il existe plusieurs angles d'approche vis-à-vis de cette diversité (Levrel, 2006).

La variabilité génétique va permettre de mesurer l'état de santé d'une population. En effet, une faible diversité génétique au sein d'une population pose rapidement des problèmes de consanguinité et une réduction de l'espérance de vie des individus, des populations et des espèces. Inversement, le bon état de santé démographique d'une population traduit une dynamique de renouvellement génétique satisfaisante et offre donc, finalement, un bon indicateur de variabilité génétique. Cette dernière est particulièrement liée à la taille de la population : plus la population est de petite taille plus la variabilité génétique est faible (Levrel, 2006).

La richesse spécifique et l'équirépartition de l'abondance pour chaque espèce, que l'on nomme traditionnellement la diversité spécifique, vont permettre de mesurer la bonne santé d'une communauté. La richesse spécifique et l'abondance au sein d'une communauté sont fonction de nombreux paramètres (contrairement à la variabilité génétique) qui font tomber l'évaluation de la biodiversité dans la complexité. Parmi ces paramètres, il est possible d'évoquer : l'hétérogénéité des habitats, la latitude géographique, les cycles biogéochimiques, la résilience des écosystèmes,... mais surtout l'histoire de la communauté qui est de nature idiosyncrasique (Krebs, 2001).

La diversité fonctionnelle d'un écosystème correspond aux capacités de réponse dont ce dernier dispose pour faire face à des perturbations exogènes. Elle est liée à plusieurs éléments tels que la diversité des groupes fonctionnels, la structure et l'intensité des interactions, la redondance fonctionnelle des espèces mais aussi tout simplement la diversité spécifique (Loreau et *al.*, 2001). Ce sont en effet tous ces éléments qui vont permettre de garantir que l'écosystème pourra offrir les réponses les mieux adaptées aux perturbations qu'il subira et de maintenir un niveau élevé de résilience (Holling, 1973). Là encore, la question de l'évaluation est très délicate.

La première catégorie d'indicateurs permettant de mesurer la biodiversité est celle des indicateurs à paramètre unique. Celui-ci établit la valeur d'une grandeur (ici la biodiversité) à partir d'une unité de mesure unique. Cette unité peut être l'espèce, l'individu, le gène ou l'interaction. Dans les faits, la variabilité génétique est très peu renseignée de manière directe car cela implique des manipulations relativement lourdes, tout comme la diversité des interactions qui demande une connaissance trop précise du fonctionnement des écosystèmes. En fait, seule l'abondance d'espèces et d'individus est utilisée (Levrel, 2006).

L'indicateur à paramètre unique le plus utilisé pour mesurer la biodiversité est la richesse spécifique qui se résume au nombre d'espèces présentes dans un écosystème, un pays ou la biosphère.

Le problème est qu'il existe aujourd'hui un consensus parmi les écologues pour dire que les indicateurs de richesse spécifique sont peu informatifs des dynamiques qui animent les écosystèmes et la biosphère de manière générale (Dobson, 2005).

En effet, la première raison est relevée par Robert Barbault en 2000 qui souligne le fait que nous ne connaissons qu'une minorité des espèces qu'il existe sur la planète (peut être 10%). La seconde raison qui met le doigt sur l'inexactitude de la richesse spécifique comme indicateur de biodiversité est que les taxons qui représentent la biodiversité peuvent réagir différemment à une même perturbation environnementale (Dudley et *al.*, 2005). Une pression pour certaines espèces peut être une source d'opportunité pour d'autres. Ensuite, l'extinction d'espèces n'est pas le meilleur moyen de mesurer les risques qui pèsent sur la variabilité génétique et la diversité fonctionnelle. « En bref, les espèces rares et les populations isolées ont une faible diversité génétique, une courte durée de vie et ne contribuent pas significativement aux services écologiques rendus par les écosystèmes. Ainsi, la diversité génétique et l'impact écologique des mille à deux mille espèces d'oiseaux insulaires endémiques disparues du fait de la colonisation progressive des îles polynésiennes par les humains étaient comparables à celles d'une dizaine de populations ou espèces continentales apparentées, totalisant le même nombre d'individus » (Teyssède, 2004).

L'avantage d'un indicateur d'abondance est qu'il est sensible aux dynamiques de court terme et qu'il envoie un message non équivoque pour la communication. Il permet par ailleurs de proposer des indicateurs à partir d'une liste d'espèces indicatrices correspondant à une liste de phénomènes à évaluer (Krebs, 2001). En effet, certaines espèces sont particulièrement informatives et suivre leur abondance peut offrir un indicateur pertinent pour évaluer l'état de santé d'un écosystème.

Grâce à cette méthode d'étude, il est donc possible d'évaluer à la fois la présence d'espèces mais en plus de connaître les services que les espèces peuvent rendre à l'écosystème (Levrel, 2006) :

Les espèces ingénieur structurent et modifient les environnements dans lesquels ils évoluent. Il s'agit par exemple des vers de terre qui retournent une grande quantité de sol au profit des plantes. Dès lors, la « qualité » de l'habitat et le bon fonctionnement des cycles biogéochimiques au sein d'un écosystème sont dépendants de l'abondance de ce type d'espèces.

Les espèces parapluies : ces espèces vont avoir besoin d'un grand espace et de nombreuses ressources, l'évolution de ces espèces est révélatrice de l'état de santé de l'écosystème et des espèces qui le composent.

Les espèces clé de voute : ces espèces sont au cœur de plusieurs phénomènes écologiques. L'état de ces populations permet d'avoir des renseignements sur l'écosystème qui leur est associé.

Espèces indicatrices : cette catégorie ne joue pas forcément un rôle dans les interactions interspécifiques. Néanmoins, elles sont sensibles aux modifications de l'environnement. Les critères à partir desquels il est possible d'identifier ces espèces sont relatifs à quatre choses :

1. les connaissances disponibles concernant leur histoire,
2. leur biologie et leur fonction ;
3. la facilité avec laquelle il est possible de les suivre ;
4. leur capacité à décrire des phénomènes structurels précis (Krebs, 2001).

L'indicateur composite est l'exact opposé de l'indicateur à paramètre unique puisqu'il implique l'utilisation d'au moins deux unités de référence. Compte tenu du niveau de connaissances disponibles, les unités de référence retenues aujourd'hui sont le nombre d'espèces et l'abondance au sein de chaque espèce. La combinaison de ces deux unités permet de calculer la diversité spécifique qui peut être approchée à partir des indices de Shannon ou de Simpson (Krebs, 2001).

L'avantage de l'indicateur composite est de pouvoir prétendre à une certaine exhaustivité qui lui offre une forte légitimité. Cela lui permet par ailleurs de niveler, par la moyenne, les effets aléatoires.

Les indicateurs composites sont confrontés à deux questions scientifiques récurrentes (Couvet et al., 2007) :

- le mode de regroupement des populations ou des espèces et les critères d'évaluation de

ces groupes ;

- les modalités de pondération de l'importance des espèces ou des groupes.

Les regroupements taxonomiques peuvent permettre de faire des regroupements adaptées à des objectifs de représentativité :

- Systématique (mammifère, reptile, oiseaux, etc.)
- Fonctions assurées (insectivore, herbivore, etc.)
- Services assurés à l'homme (pollinisateur, structurant de littoral, etc.)
- Mode d'utilisation (espèces classées, chassées, etc.).

Ces objectifs doivent être guidés par un facteur d'intégration, cela induit qu'il est nécessaire de développer des indicateurs permettant d'approximer :

- Taille de la population
- Evolution des habitats
- Services écosystémiques fournis à l'homme
- Les forces qui sont à l'origine de l'érosion de la biodiversité
- Efficacité en terme de conservation

Tableau 1: Phénomènes et Indicateurs

Phénomène à évaluer	Exemples d'indicateurs
Variabilité génétique au sein d'un écosystème	Variation de la taille des populations composant cet écosystème
Diversité spécifique au sein d'un écosystème	Variation du nombre d'espèces pondérée par leurs abondances relatives.
Etat de santé d'un habitat	Variation de l'abondance des populations inféodées à ce type d'habitat
Originalité d'un écosystème	Variation de la taille des populations des groupes « spécialiste »/ groupes « généralistes »
Fonction culturelle	Variation de l'abondance des populations patrimoniales ou utilisées pour les activités récréatives
Fonction de régulation	Variation de l'abondance au sein de groupes fonctionnels et des niveaux trophiques
Fonctions d'approvisionnement	Variation de l'abondance des populations utilisées par l'homme pour se nourrir, se soigner, se chauffer, ...
Pression sur la biodiversité	Variation de l'abondance des populations sensibles aux principales forces de changements (climat, agriculture, ...)
Efficacité des mesures de conservation	Variation de l'abondance des populations ciblées par des mesures de conservation

Il apparaît dans cette partie que le choix des indicateurs est un élément important dans l'orientation des recherches désirées sur la biodiversité. Les indicateurs apporteront des réponses différentes sur l'analyse de l'écosystème.

2.5. Mesure de la biodiversité

L'objectif de notre travail sera de mesurer de différentes manières la diversité biologique. Ce travail est utile pour répondre à la problématique d'interaction entre les types d'espaces anthropisés et les écosystèmes. Après ces mesures nous pourrons analyser ce travail sous R.

Richesse spécifique

La richesse spécifique désigne le nombre d'espèces présentes dans une communauté (Ricklefs et Miller, 2005), dans un écosystème donné et/ou dans une aire préétablie. Ce dernier semble être un indice de diversité simple. Cependant, la problématique est dans le choix de la surface de l'échantillonnage. L'aire minimum est la surface nécessaire pour trouver toutes les espèces présentes dans l'habitat considéré. En forêt tempérée, on considère qu'elle est inférieure à un hectare. Néanmoins, même si certaines espèces sont rares au sens de la probabilité de rencontre, l'expérience montre que l'augmentation de la taille de l'échantillonnage n'est pas une solution adaptée.

Cette diversité peut être divisée de trois manières :

1. **Diversité α** : richesse en espèces au sein d'un écosystème local.
2. **Diversité β** : comparaison de la diversité des espèces entre écosystèmes ou le long de gradients environnementaux. Elle reflète la modification de la biodiversité alpha lorsque l'on passe d'un écosystème à un autre dans un site.
3. **La diversité γ** : richesse en espèces au niveau régional ou géographique.

Dans un premier temps il s'agit de mesurer la diversité α , à l'intérieur d'un même habitat. Pour se faire nous pouvons utiliser 3 méthodes :

1. Extrapoler une courbe aire-espèce observée dans les échantillons. La méthode consiste à formaliser la relation $S = f(A, \beta)$ (où S est la richesse totale, A est l'aire et β est un vecteur de paramètres) à partir d'un certain nombre d'hypothèses puis à ajuster les paramètres à partir des données.

2. Utiliser les fréquences des espèces observées pour en déduire le nombre d'espèces non observées. Deux méthodes sont alors en concurrence :

- Formaliser les fréquences des espèces par une loi connue et estimer les paramètres à partir d'un échantillonnage. Un modèle connu est le broken stick (Pielou, 1977) dans lequel les différences sont distribuées selon une loi exponentielle.
- Utiliser des méthodes d'estimation non paramétriques. Nous pouvons prendre par exemple l'estimateur de Chao et le *jackknife* (Burnham et Overton, 1979).

Néanmoins, dans le cas d'une évaluation de plusieurs écosystèmes et l'impact de certaines espèces comme les pollinisateurs, ou les coprophage il serait donc intéressant d'évaluer l'équitabilité.

Equitabilité

En effet, dans le cas d'une étude où l'objectif est d'évaluer les écosystèmes et l'impact que peuvent avoir ces espèces sur le milieu urbain étudié, il nous faut connaître la proportion de ces espèces dans l'environnement (l'équitabilité) (Marcon, 2006).

Pour calculer la richesse et l'équitabilité il est possible d'utiliser les indices courants comme l'indice de Simpson et celui de Shannon (Marcon, 2006).

2.6. Exemple d'indice permettant d'évaluer la biodiversité et les écosystème

Les indices sont des Valeurs numériques constantes caractéristiques d'un système écologique donné, obtenues en appliquant à un algorithme déterminé, les valeurs quantitatives de certains facteurs ou paramètres écologiques propre à un biotope, une population ou une communauté toute entière¹.

Indice Simpson

On note p_i la fréquence de l'espèce i , E_s l'indice de Simpson (1949) :

$$E_s = 1 - \sum_{i=1}^x p_i^2$$

1 http://www.protection-nature.org/glossaire_ecologie.htm

Il peut être interprété comme la probabilité que deux individus tirés au hasard dans l'échantillon soient d'espèces différentes. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus sa valeur est faible plus la distribution est régulière (Marcon, 2006).

Indice de Shannon-Weaver

Cet indice est le plus couramment utilisé dans la littérature. Il est basé sur la formule suivante 1:

$$H = - \sum_{i=1}^x p_i \ln p_i$$

P_i est la probabilité d'échantillonner une espèce

H est minimal si tous les individus sont de la même espèce. L'indice est maximal quand tous les individus sont répartis de façon égale sur toutes les espèces (Frontier, 1983). L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité J de Pielou (1966) (Ramade, 2003).

Indice de diversité de Hill

Il s'agit d'une mesure d'abondance proportionnelle permettant d'associer l'indice de Shannon-Weaver et celui de Simpson. La formule est la suivante :

$$Hill = (1/\lambda) / e^h$$

$1/\lambda$ = inverse de l'indice de Simpson

e^h = l'exponentiel de l'indice de Shannon-Weaver

L'indice de diversité de Hill permet d'obtenir une vue encore plus précise de la diversité observée. La mesure des individus les plus abondants sera faite grâce à l'indice de Simpson. Shannon-Weaver va en revanche permettre de mesurer le nombre effectif d'individus abondants mais surtout des espèces rares. Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1, et plus la diversité est faible. Afin de faciliter l'interprétation, il est alors possible d'utiliser l'indice 1-Hill, où la diversité maximale sera représentée par la valeur 1, et la diversité minimale par la valeur 0 (Marcon, 2006).

1 http://www.rebent.org//medias/documents/www/contenu/pdf/document/Fiches_techniques/FT10-2003-01.pdf

L'indice de Hill semble le plus pertinent dans la mesure où il intègre les deux autres indices. Toutefois, il peut être utile d'utiliser les trois indices conjointement afin d'en extraire un maximum d'informations et de mieux comprendre la structure des communautés (Marcon, 2006).

Cette analyse peut être affinée par une approche par groupe écologique. Pour ce faire il faut classer les organismes par groupe fonctionnel, sur la base des caractéristiques recherchées pour analyser notre modèle (pollinisateur, détritivore, nuisible, etc.). La réponse des groupes face aux variations de l'environnement, traduit alors les tendances générales d'évolution du peuplement dans son ensemble. Ces tendances ne sauraient être détectées par l'étude d'une espèce particulière trop peu représentative ou des paramètres structuraux trop généraux (Richesse spécifique, Abondance, Biomasse).

2.7. Biodiversité et urbanisation

La faune et la flore urbaines forment un écosystème tout à fait original car la forte empreinte de l'homme fait qu'il est soumis à toutes les formes de contraintes anthropiques (diverses pollutions, perturbations liées à la simple présence de l'homme, et impact des modifications du paysage) (Venn *et al.*, 2003).

Historique

Au niveau mondial, en 1800, un habitant sur dix seulement vivait en ville, en 1900, déjà un sur cinq, en 1995, presque un sur deux. Le processus d'urbanisation est omniprésent, à des rythmes certes variables mais souvent rapides, alimenté tant par l'accroissement naturel que par les migrations (Tabutin, 2000). La conséquence directe de l'étalement urbain, au niveau d'une petite ville comme d'une mégapole, est la disparition des espaces ruraux ou naturels, aux profits de logements, zones d'activités, infrastructures routières, ... (Clergeau, 2004). Ces activités vont entraîner des impacts sur la diversité biologique (fragmentation, pollution, destruction des habitats, ...) ; les espèces associées risquent donc de disparaître.

L'activité humaine dans ces villes va donc perturber les écosystèmes et changer la dynamique des communautés et le comportement des populations animales et végétales (Clergeau, 2004).

Davis et Glick, en 1978, ont suggéré qu'il était possible qu'il y ait une forme d'insularité dans les villes. En effet, l'isolement est entretenu par les difficultés de flux d'individus et par les comportements humains qui repoussent ou favorisent par des caractères climatiques particuliers (température plus élevée, changements locaux de la vitesse et de la direction du vent) (Sacré et Eliasson, 2002).

Dans ce cas de figure, les populations vont avoir une évolution particulière, comme il a été observé sur une étude d'une population urbaine de mulot *Apodemus Sylvaticus* (Cihakova et Frinta, 1996). On peut aussi s'attendre à ce que l'écosystème urbain favorise et sélectionne certaines espèces plutôt que d'autres et contribue à accentuer l'importance de certains groupes, par exemple les oiseaux omnivores (Clergeau et al., 1998), les coléoptères les plus petits (Sustek, 1987) ou des espèces végétales annuelles exotiques (Godefroid, 2001).

Les relevés floristiques urbains ne sont pas récents, depuis 1635, Jacques Cornut faisait déjà état des plantes localisées dans la région parisienne dans son *Enchiridion botanicum parisiense*. L'étude dynamique de l'écosystème urbain prend aujourd'hui toute son ampleur. En effet, après avoir étudié la nature en excluant l'homme, les études scientifiques ont pris conscience de l'intérêt des villes comme terrain d'expérimentation, et dans une mouvance de développement durable, les villes commencent à s'intéresser à leur biodiversité (Machon et Muratet, 2008).

Comme d'autres études ont pu le montrer, les milieux urbains peuvent favoriser la variété des espèces. Dans les Hauts-de-Seines, nous avons comptabilisé 626 différentes espèces de plantes. À Halle en Allemagne, la zone urbaine accueille aussi près de 20% d'espèces supplémentaires que les zones agricoles périphériques. Dans les Hauts-de-Seine, cinq plantes ayant une valeur patrimoniale ont été dénombrées (Machon et Muratet, 2008).

En ce qui concerne la dynamique des flux de gènes en milieu urbain, il semble que, malgré la forte proportion de surface bâtie sur ce département, les flux de graines et de pollen sont présents. Elle s'élève, en effet, à 70% (Machon

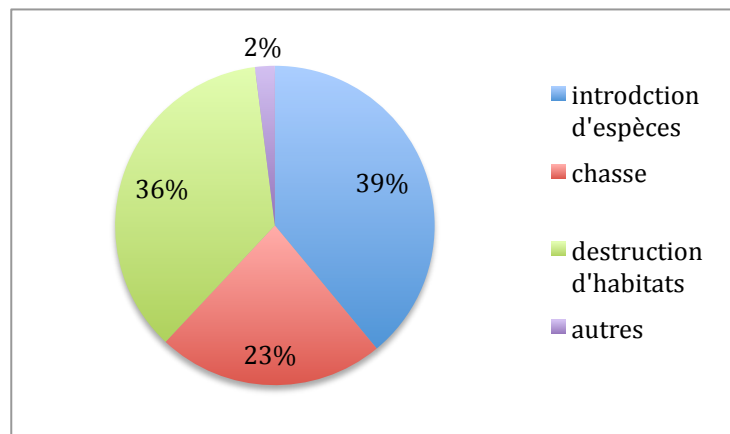


Figure 4: principales causes d'extinction d'espèces animales depuis 1600. (d'après Groombridge et al., op.cit.,1992,p 199)

et Muratet, 2008).

Impact de l'homme sur la faune et la flore

Les études scientifiques ont montré que l'activité humaine et ce qu'elle implique peuvent nuire à la faune et la flore. Les récentes études ont pu montrer l'importance des écosystèmes dans notre société (social, économique, éthique, ...) (Lévêque et Mounolou, 2008).

L'intérêt de ces études sur les populations animales et végétales dépasse la caractérisation de populations adaptées ou la traduction d'impacts environnementaux liés à la ville. Cela permet à la fois de vérifier les effets de l'augmentation de températures sur ces espèces, mais également vérifier l'impact de l'aménagement urbain sur les communautés animales et végétales (Clergeau et *al.*, 2004). De plus, le fait de comprendre quelles espèces et par quels moyens elles ont pu survivre aux nouvelles conditions environnementales imposées par l'homme, pourrait permettre d'apporter une meilleure conception de la conservation.

Comme il été précisé auparavant, l'écologie urbaine est un domaine récent, il est considéré et plébiscité depuis peu. En effet, les chercheurs ont globalement commencé à considérer les villes comme des écosystèmes à part entière dans les années 1970 (Clergeau et *al.*, 1998). Ils ont commencé à étudier cet espace comme un milieu naturel.

L'écologie urbaine, tout comme le reste des branches de l'écologie, se base souvent sur des patrons et sur l'identification de leurs paramètres pour mettre en place des hypothèses sur les processus sous-jacents. Ces premières études d'écologie urbaine avaient donc pour objectif de décrire ces patrons d'organisation de communauté. Depuis plus de trente ans d'études ces descriptions de patrons se sont multipliées.

L'étalement et l'extension des villes vont entrainer des modifications du paysage et induire de nouvelles contraintes écologiques auxquelles les espèces devront faire face (Leston et Rodewald, 2006).

Face à ces modifications du milieu les espèces peuvent évoluer de deux manières différentes :

- Soit elles tolèrent et exploitent les milieux urbanisés ;
- Soit elles ne tolèrent pas les modifications du milieu et elles voient leur aire de répartition se modifier ;

En effet, elles peuvent préférer le milieu urbain aux milieux naturels, dans ce cas il s'agit d'« urban exploiters » (Blair, 1996). Ces espèces vont devenir tellement abondantes qu'elles vont importuner les citadins. L'exemple du moineau *Passer domesticus* représente bien ce type d'espèce car il est responsable de nombreuses plaintes pour les nuisances sonores et sanitaires générées par les dortoirs.

À l'opposé il y a aussi les « urban avoiders » qui ne tolèrent pas du tout les conditions urbaines et l'aménagement urbain va entraîner la diminution de leur surface de répartition.

Les « urban adapters », au centre, sont les espèces capables de vivre aussi bien en milieux naturels qu'en milieux urbanisés.

Blair en 2001 a décrit un nouveau patron d'organisation : l'homogénéisation biotique. Il explique que chaque écorégion possède son propre assemblage d'espèces. Néanmoins, les villes de différentes écorégions possèdent souvent les mêmes espèces. Olde et Poff en 2003 vont plus loin dans la description de cette homogénéisation. Ils précisent que l'homogénéisation est une variable biologique mesurée dans différents lieux. Cette variable peut être de nature génétique, taxonomique, ou fonctionnelle. Cette augmentation est due au fait que les espèces invasives vont remplacer les espèces natives.

En Amérique du nord, des études similaires ont apporté des résultats en accord avec les théories précédentes (McKinney, 2006). L'avifaune urbaine des États-Unis est principalement composée d'espèces invasives apportées par les immigrants européens (Blair 2001). Même si ces espèces exotiques peuvent donner l'impression d'une augmentation de la diversité. Il va donc avoir une compétition entre les espèces locales et exotiques. Cette rivalité va entraîner une diminution de la diversité locale (alpha) et à grande échelle.

Néanmoins dans les milieux urbains européens l'hégémonie de l'avifaune exotique n'est pas aussi flagrante. En effet, il s'agit généralement d'autochtones tolérantes aux conditions de vie urbaines. Malgré cette différence de composition l'homogénéisation se fait quand même. Cependant, dans ce cas de figure, ce n'est pas un remplacement des espèces natives par les exotiques mais celui des intolérantes par les tolérantes.

Cela fait à vingt ans qu'ont commencé les travaux sur les interactions entre les gradients urbains et les écosystèmes (McDonnell et Pickett, 1990). En effet, des chercheurs ont démontré une diminution de la richesse spécifique des périphéries au centre-ville (Blair 1996,

Clergeau *et al.* 1998). Cependant, Clergeau *et al.* en 2006 ont pu noter une augmentation de la densité de certaines espèces en centre ville, ce qui implique la domination des systèmes anthropiques entraîne un pool des espèces particulièrement tolérantes aux conditions urbaines. Il a été précisé précédemment que les milieux urbains peuvent s'apparenter à des milieux insulaires. De plus il y a des évolutions écologiques qui confirment la propriété insulaire des villes, comme les différences entre les populations animales rurales ou urbaines :

- Variations de la taille des rongeurs (Frinta, 1993)
- Modifications des chants des oiseaux (Slabbekoorn et Peet, 2003).

Il est difficile, néanmoins, de savoir si ces différences sont le simple résultat d'une réponse à un environnement altéré ou une réelle sélection naturelle.

L'approche populationnelle en ville est particulièrement intéressante pour l'étude de la réponse des organismes aux perturbations anthropiques. Néanmoins, elle nécessite souvent au préalable une bonne compréhension des processus en jeu dans la mise en place de la biodiversité à des échelles d'organisation plus larges, par exemple les communautés.

De plus la biodiversité n'évolue pas de la même manière en milieu public et en milieu privé. En effet, l'empreinte de l'homme n'est pas la même dans ces deux milieux. Les espèces ne subiront donc pas forcément les mêmes contraintes. Il serait donc intéressant de faire un parallèle entre les milieux urbains public et privé (les jardins).

Les jardins

Depuis l'école d'Épicure créé en -306 avant JC. le concept de jardin a bien évolué. Des études ont montré l'inspiration hygiéniste des programmes d'amélioration de l'ordre et de la santé publique sous le Second Empire et la Troisième République. En effet, aussi bien les créations de parcs urbains, des jardins ouvriers, de la banlieue verte avaient pour but de combler une demande en hygiène et en santé. De plus, il existe aussi une certaine demande sociale, Edward O Wilson, biologiste de l'Université de Harvard, lauréat d'un prix Pulitzer en 1979, a développé l'hypothèse de la biophilie qui explique que les êtres humains possèdent des prédispositions innées inscrites dans leur patrimoine génétique à vouloir un certain « contact » avec la nature. La biophilie est une réponse émotionnelle (qui peut être un sentiment de bien être ou de plaisir) ou un changement de comportement. Il définit le terme de la façon suivante « innately emotional affiliation of human beings to other living organisms » (Wilson, 1993) (cohésion émotionnelle et naturelle de l'homme avec les autres êtres vivants). C'est via ce

phénomène qu'il justifie nos besoins d'avoir des parcs, jardins et même des animaux de compagnie. Cependant, cette nature domestique transcende le rôle purement social et sanitaire. Effectivement, depuis quelques années, les jardins domestiques sont soumis à une attention grandissante de la part des écologistes (Gaston et *al.*, 2005). Cette faune et cette flore domestique se sont montrées intéressantes pour le maintien de la biodiversité dans les milieux urbains et leurs périphéries. Il est possible de classer les importances écologiques des jardins en différents points :

1. La grande biodiversité que l'on peut trouver dans quelques jardins (Owen, 1991).
2. La fréquence des espèces autochtones que nous pouvons trouver dans les jardins domestiques (Owen, 1991).
3. La grande proportion et les fortes densités d'espèces productives dans ces jardins (Goulson et *al.*, 2002).

Ces trois particularités sont généralement plus présentes dans les jardins que dans les campagnes. En effet, une agriculture intensive et ce que cela engendre (uniformisation du paysage, pesticides) peut nuire à la diversification des espèces aussi bien animales que végétales (Gaston et *al.*, 2005). De plus, il est à noter que les jardins domestiques possèdent souvent un « jardinier » qui va mettre en place une gestion et une maintenance des espèces, ce qui va apporter au jardin une faculté (« unnatural ability ») à préserver et conserver les espèces rares ou possédant des faibles populations (Gaston et *al.*, 2005).

4. Dans bon nombre de cas, l'ajout de la surface des jardins est équivalent aux autres formes de surfaces vertes urbaine et péri-urbaine (Gaston et *al.*, 2005).

Des études ont montré que les jardins possèdent une flore extrêmement riche, plus que les milieux naturels méditerranéens ou tropicaux. Thompson Ken conclue même que le record du monde de diversité végétale n'a pas encore été trouvé mais sera sûrement un système de jardins quelque part dans le monde (Thompson et *al.*, 2003).

Cependant, ces jardins possédant une grande quantité d'espèces exotiques et quelques espèces environnantes, la question du rôle de ces jardins dans la composition des écosystèmes urbains persiste. Il paraît donc intéressant d'étudier les différences et les interactions réciproques qu'il peut exister entre les écosystèmes « contrôlés » et les autres le long du gradient d'urbanisation.

Il a été prouvé que les centres-villes sont censés connaître une homogénéisation de leurs populations après les colonisations d'espèces exotiques (qui peuvent éventuellement venir des jardins) et le « départ » de certaines espèces autochtones. Nous sommes donc face à une problématique d'Espèces Exotiques Envahissantes (EEE). Il serait judicieux avant d'aller plus loin dans cette étude de faire une digression sur les particularités des EEE, pour mieux appréhender les particularités des homogénéisations taxonomiques.

Les espèces exotiques envahissantes (EEE)

Sémantiques

Sur le plan lexical, les invasions créent de véritables divergences au niveau des appellations. En effet, il existe une véritable profusion de termes pour illustrer les espèces exotiques qui envahissent un territoire : Espèces exotiques, non natives, non indigènes, allochtones, néophytes, xénophytes, envahissantes, invasives, proliférantes, transformatrices, etc.

Le terme le plus répandu est invasif(ve) qui est un « anglicisme », ce terme est fréquemment utilisé dans la littérature (S.Müller 2004, Richardson et *al.*, 2000), cependant ce terme ne précise pas l'origine de l'espèce (exotique ou autochtone). Un autre courant de pensée va même jusqu'à affirmer que le terme espèce n'est pas approprié car il considère que dans son milieu d'origine l'espèce n'est pas envahissante, l'UICN définit une espèce envahissante comme : « une espèce dont la propagation menace les écosystèmes, les habitats, les espèces indigènes avec des conséquences économiques et/ou écologiques et/ou sanitaire négatives » ; dans ce cas, il serait plus approprié de parler de population envahissante.

Néanmoins, N.Maurel du Muséum National d'Histoires Naturelles note que les nombreuses divergences d'appellations sont représentatives de la complexité du problème des EEE. Effectivement, la littérature, largement documentée, montre qu'aucun écosystème, aucun organisme et aucune région n'est épargnée par les invasions biologiques (AM.Tabacchi et E.Tabacchi., 2008). Ce constat décline l'impact des EEE en trois grands domaines :

1. La santé : ces espèces peuvent entraîner des perturbations de la santé humaine (Shine et *al.* 2000).
2. L'écologie : les EEE peuvent troubler l'équilibre de l'écosystème (Shine et *al.* 2000).
3. L'agriculture : la forte présence de ces EEE peuvent avoir un impact important sur l'agriculture (Boukhris-Bouhachem et *al.* 2007).

Il est également nécessaire d'associer à ces trois domaines des caractéristiques particulières qu'il convient de détailler.

Description de ces envahisseurs

Les espèces exotiques lorsqu'elles sont amenées sur un nouveau territoire, peuvent s'implanter avec un temps de latence (entre introduction et propagation) qui peut varier (Kowarik 1995). Cependant, elles garderont un schéma d'installation relativement analogue. En combinant plusieurs études (Pascal et *al.*, 2003) nous retiendrons ici ce schéma qui permet d'illustrer la mise en place d'une espèce exotique : ce schéma représente les 4 étapes (et leurs contenus) d'une de la mise en place d'une espèce exotique dans un nouvel écosystème.

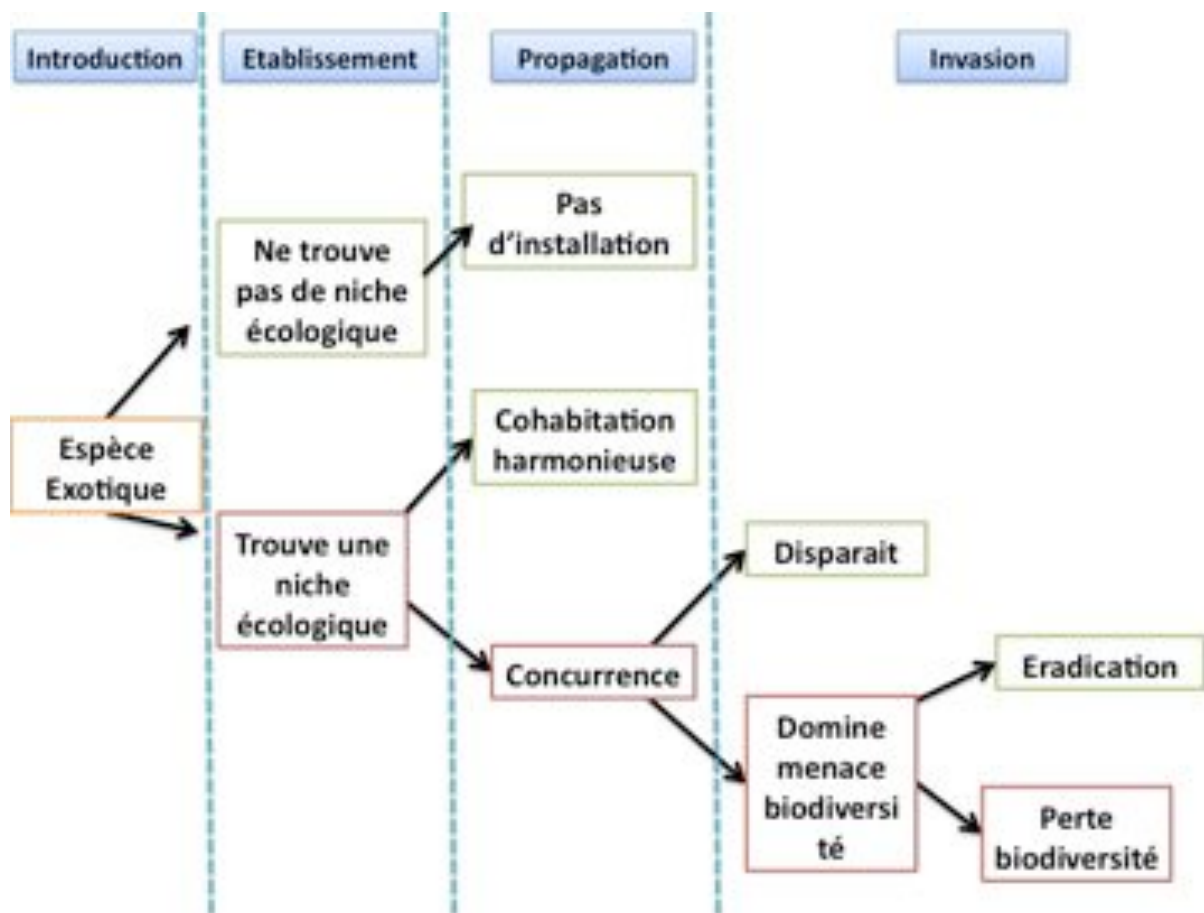


Figure 5 : schéma illustrant l'installation d'une espèces exotiques dans un milieu (Pascal et al., 2003)

Toutes les installations d'EEE sont différentes, elles vont dépendre de différents paramètres : la nature, l'origine et les caractéristiques de l'écosystème ainsi que celles de l'espèce exotique (Tabacchi et Tabacchi., 2008). Certains scientifiques ont constaté que plus les milieux sont isolés géographiquement plus ils semblent vulnérables aux invasions biologiques. L'importance des ces invasions dans les îles océaniques est souvent expliquée par leur faible diversité biologique et par la diminution des pressions de sélection qui s'exercent sur les organismes en région continentale (Strasberg et Lepart, 2007).

Ces traits et caractères relèvent de la biologie insulaire (Magnanou, 2005). La « sensibilité » de ces milieux aux invasions, s'explique par différentes caractéristiques (Courchamps, 2002). Les caractéristiques des communautés « envahissables » sont les suivantes :

- Population généralement faiblement diversifiée,
- Absence « d'ennemi » naturel des envahisseurs, ce qui permet une reproduction sans facteur limitant, excepté les ressources,
- Absence d'équivalent écologique parmi les espèces natives ; l'envahisseur peut facilement s'implanter sans devoir réellement entrer en compétition pour les ressources.
- Perturbations anthropogéniques,
- Réseaux trophiques simples, (peu d'étapes), facilité de se greffer sur ce réseau.
- Ces espèces possèdent un haut « r », il s'agit d'une stratégie de reproduction (opposée à la stratégie K) basée sur la production d'un grand nombre de jeunes, le plus tôt possible et une mortalité très élevée, c'est une adaptation des milieux instables et imprévisibles (Arthur et Wilson, 1967). Pour la mise en place de cette stratégie, de nombreuses espèces ont adopté des mécanismes de dispersion très performants.

Tableau 2: tableau comparatif entre les 2 stratégies de développement

Espèces à stratégie r	Espèces à stratégie K
Durée de vie courte	Durée de vie longue
Taille réduite	Grande taille
Maturité précoce	Maturité tardive
Peu ou pas de soins parentaux	Soins parentaux
Forte descendance	Faible descendance
Régime alimentaire large (euryphage)	Régime alimentaire étroit (sténophage)

- Ces espèces sont généralistes ; elles s'adaptent à beaucoup de milieux (habitat), ce qui leur confère un pouvoir de colonisation élevé.
- Ces espèces possèdent un régime alimentaire varié, qui leur permet d'être moins limitées que les espèces autochtones (généralement spécialisées). Cette faculté rend les EEE plus perturbatrices, et leur donne un « pouvoir » de destruction de nombreux organismes.
- Elles sont naturellement largement distribuées sur terre, ce qui s'explique par leur grande adaptabilité et leur compétitivité sur les différents milieux du globe (les fourmis sont présentes sur tous les continents).

Toutes les espèces n'ont cependant pas les mêmes capacités d'adaptation. Les vertébrés sont les plus aptes à réussir une invasion. L'exemple du rat *Rattus sp* illustre parfaitement cette aptitude d'adaptation puisque 80% des îles sont colonisées par cette espèce (Atkinson, 1985).

Les invasions

Phénomène naturel et anthropique

Contrairement aux idées reçues, le transfert d'espèces d'une région géographique à une autre n'est pas uniquement dû aux activités humaines. Lors de la dérive des continents (émergence de l'isthme du Panama), des dépressions climatiques (tempêtes, à l'origine d'un très grand nombre de transport de graines (Tchatat et Ndoeye, 1999)), mais également des activités migratoires d'un grand nombre d'espèces d'oiseaux (Debussche *et al.*, 1994), des contaminations ont eu lieu sur l'ensemble des continents.

Bien que non négligeables ces introductions ont connu un essor avec l'augmentation des activités anthropiques (l'essor croissant de l'agriculture, du commerce et des moyens de transport transcontinentaux). Ces invasions biologiques, consécutives à des introductions dans de nouvelles régions d'espèces exotiques ont pris une ampleur considérable. Elle a connu une accélération particulière durant ces deux derniers siècles (Di Castri *et al.*, 1985, Mack *et al.*, 2000).

De plus face à cette invasion force est de constater que les EEE facilitent l'arrivée d'autres invasions biologiques (Mack *et al.*, 2000).

Dans certains cas, les activités humaines permettent même de les protéger. L'agriculture protège les espèces exotiques jusqu'au moment où elles sont assez importantes pour devenir envahissantes (Mack et *al.*, 2000). Le goût pour les espèces exotiques et sauvages de compagnie font que des espèces sont importées et souvent relâchées dans la nature lorsqu'elles deviennent trop encombrantes ou agressives, (ex : grenouille-taureau américaine, tortue de Floride..) (Coïc et Detaint, 2001).

Les activités humaines peuvent être considérées comme la pierre angulaire de ce problème d'espèces invasives. Les transports et l'érosion des barrières font que les espèces peuvent plus facilement s'implanter qu'avant, il y a 10 millions d'années le passage de ces barrières était impossible pour ces espèces. (Holdgate et *al.*, 1986).

Les différents moyens d'introduction d'espèces exotiques envahissantes sont :

- **Les invasions biologiques spontanées** : cela concerne les espèces dont l'établissement est sans rapport évident avec une quelconque activité humaine.
- **Les invasions biologiques subspontanées** : il s'agit des espèces dont l'établissement est en rapport avec des activités humaines :
 - si cet établissement est indirectement lié à des activités humaines, suite à des modifications de milieux générées par l'Homme par exemple (connexions par canaux de réseaux hydrographiques, déboisement et création d'*open fields* et de bocages, voies de circulation, *etc.*).
 - si cet établissement est la conséquence directe d'un transport par l'Homme, il s'agira d'**introductions**, ces dernières pouvant être **accidentelles** ou **délibérées** (Pascal, 2003).

Les Invasions biologiques

En France, de récents travaux montrent que depuis l'avènement Néolithique de l'élevage et de l'agriculture qui a débuté en France au 6ème millénaire avant J.-C., l'Homme interfère avec les processus naturels d'invasions de Vertébrés, d'une part directement, en introduisant délibérément ou accidentellement des espèces allochtones, d'autre part indirectement, en modifiant les habitats, autorisant ainsi des invasions biologiques sub-spontanées (Pascal et *al.*, 2003).

Plus récemment, la prééminence de l'Homme dans ces processus s'est affirmée pendant la période romaine, puis du XIVème au XVIème siècle avec les grandes découvertes, au

XIXème et au début du XXème siècle avec la réalisation de grands travaux, mais surtout depuis la fin du dernier conflit mondial. Ce dernier événement est contemporain de l'amorce d'une forte augmentation du volume des échanges internationaux, des linéaires de communication terrestre et de la démographie humaine (United Nation, 1994). Il est aussi l'amorce d'une importante évolution des motivations à l'origine des introductions, de profonds changements de l'usage de l'espace sous la contrainte d'un fort renouvellement des pratiques culturelle et d'élevages et enfin d'une mutation touchant l'habitat rural et les processus d'urbanisation et de gestion du périurbain (Pascal et *al.*, 2003).

Ces espèces n'ont pas co-évolué, au sens darwinien, avec les envahis. Ceci explique un taux d'échec important des invasions, faute d'adaptation au milieu récepteur. Mais cela peut constituer aussi un avantage, car l'introduction prive souvent l'espèce de ses ennemis naturels (prédateurs, maladies, parasites, etc.), lui conférant davantage de possibilités pour dominer. Finalement, la seule particularité des invasions est de se révéler comme une dominance exacerbée d'une espèce jusqu'à lors absente du milieu.

Néanmoins les écosystèmes des villes sont des facteurs qui peuvent être fortement influencés par la présence de corridors.

Paysage écologie et circulation d'espèces

La ville peut être considérée par les écologues comme un paysage comme les autres. Le paysage se définit en écologie par un ensemble d'éléments physiques, chimiques, biologiques et socio-économiques dont les interactions déterminent les conditions de vie (Clergeau et Désiré, 1999).

L'écologie du paysage a entraîné une terminologie spécifique. Tous les paysages, même différents sont constitués d'une structure semblable, une « mosaïque écologique », composée par divers types d'éléments plus ou moins fragmentés et connectés entre eux par des flux minéraux d'espèces et d'énergie. Cette mosaïque paysagère constitue un ensemble spatialement hétérogène. Il est possible de distinguer trois grands types d'éléments (Forman et Goudron 1986) :

- la matrice,
- les taches,
- les corridors.

La matrice correspond à l'élément structurant qui apporte sa physionomie au paysage. Dans cette matrice il est possible d'avoir des éléments ponctuels, des tâches ou des parcelles. Ces

tâches sont comparable à des îles plus ou moins isolées les unes des autres (Clergeau et Désiré, 1999).

Ces tâches sont le résultat de perturbations naturelles ou anthropiques. L'ensemble de ces tâches forme une mosaïque. Chaque élément du paysage peut avoir des relations avec les autres. Ces relations sont des flux de matière ou d'énergie qui sont conditionnés par des vecteurs tels que le vent, l'eau, les animaux et les hommes.

Ces tâches peuvent être reliées entre elle par des éléments, dénommés corridors. Ces voies naturelles assurent le passage des espèces et de l'énergie entre ces taches. Ensemble de ces corridors constitue un réseau (Clergeau et Désiré, 1999).

Néanmoins, ces corridors ne sont pas utilisés de la même façon aux différentes espèces. En effet, les petits mammifères et les insectes ne vont pas utiliser les corridors de la même façon. La contrainte d'habitat et de déplacement vont influencer leur mode d'utilisation de ces corridors (Clergeau et Désiré, 1999).

L'agencement et l'abondance de ces éléments du paysage conditionnent la distribution spatiale des populations. Cependant, la mise en place de certains aménagements ou travaux peut détruire les corridors et donc créer une certaine fragmentation dans le paysage.

Cette dernière empêche donc le passage de certaines espèces, de matière et d'énergie. Cette coupure est un véritable problème écologique car il peut induire un appauvrissement des pools génétiques, rendant à terme vulnérable une petite population, et une augmentation des effets accidentels, si une population décimée ne peut se construire par manque de nouveaux arrivants. Le concept de « puits-source » illustré par Pulliam en 1988 illustre bien en quoi les forêts peuvent jouer le rôle de source d'espèces qui vont coloniser un petit bois dans lesquels ils auront du mal à se maintenir et à jouer un rôle dans la dispersion. Ce petit bois est donc un puits. L'identification de ces éléments est importante dans l'écologie paysagère car certaines zones peuvent être des zones de connexion biologique ou des zones puits-source. Il est donc primordial dans le cadre d'un aménagement durable d'identifier et de comprendre le paysage urbain et rural dans son ensemble.

Modèle réunionnais



3. Modèle réunionnais

3.1. Contexte et objectifs

Plus de 3 % de la population métropolitaine vit en outre mer. La croissance démographique est quatre fois plus rapide qu'en Métropole. En effet, même si elle a bien régressé depuis plus de vingt ans, la natalité reste très forte. Avec ses 750 000 habitants, la Réunion est le plus peuplé des DOM où les populations sont fortes et relativement denses. Il y a donc, dans cette île, une réelle problématique de gestion des habitats et de l'urbanisme qui s'adapte à la forte croissance démographique.

De plus, la Réunion possède des particularités écologiques et politiques qui lui sont atypiques. Effectivement, elle est à la fois qualifiée de « hot spot » de biodiversité de par son fort patrimoine naturel et est intégrée dans GERRI, un programme politique qui a pour objectif de faire de l'île le premier laboratoire écologique mondial. Il est à noter que ce département possède à la fois un parc national et une réserve naturelle nationale. La faune et la flore possèdent donc une place importante dans la structure, les aspirations et le patrimoine de la Réunion.

Néanmoins, il n'y existe que très peu d'analyses sur la nature en ville et sur son évolution en fonction des aménagements humains. Pourtant la biodiversité apporte de nombreuses implications à la société humaine.

Il existe des aspects structurants, il est possible de faire référence aux abeilles qui permettent à l'activité agricole de fonctionner plus facilement en diminuant les dépenses nécessaires, mais aussi aux coraux qui structurent les plages et qui sont un atout non négligeable pour le tourisme de l'île. Les forêts et les végétaux ont également un rôle non négligeable en limitant l'érosion.

Cependant, il existe aussi des aspects destructurants. Il est possible de citer le cas des mouches des fruits et des légumes dont la gestion coûte des millions d'euros, ou encore le cas des coptotermes de Formose (*Coptotermes formosanus*), termites originaires de d'Asie de l'Est, introduits dans le sud-est des États-Unis qui entraînent des coûts importants : on estime

à 1 milliard de \$ US par année les dépenses liées aux dommages causés à la propriété, aux réparations et aux mesures de lutte contre l'espèce.

Les espèces n'ont pas toutes les mêmes implications sur le plan social, économique et culturel. La présence de certaines espèces peut apporter à une région à la fois des atouts économiques et un meilleur confort. Il serait donc intéressant sur un plan urbanistique d'étudier les interactions entre les types d'aménagement et les écosystèmes. En effet, cela permettra de pouvoir réaliser une modélisation politique, en utilisant une nouvelle vision et gestion urbanistique. Ces outils peuvent donner un nouveau poids à la position de la biodiversité dans les décisions et les constructions concernant la mise en place de projets à la Réunion. En effet, comprendre les implications que peuvent avoir les aménagements sur les écosystèmes est un outil de gestion territorial qui peut être utilisé, à la fois pour optimiser les services de la nature, et pour minimiser les dépenses liées à la présence de certaines espèces.

3.2. Nouveau enjeux de cette biodiversité urbaine

Niemelä en 1999 souligne le fait qu'il est difficile d'identifier les mécanismes à l'origine des patrons d'organisation. Malgré l'avancée des connaissances dans ce domaine, des questions restent en suspens (Blair, 1996) :

Les chercheurs ont pu noter certaines homogénéisations taxonomiques, mais comment expliquer cette l'uniformité dans ces homogénéisations dans différentes écorégions ?

Il y a une distribution spécifique des espèces le long du gradient urbain, quels sont donc les impacts du changement de paysages sur cette distribution, et quelles sont les conditions apportées à la faune et la flore dans différents cas de figures ?

De plus la Réunion est un cas intéressant, car comme toutes les îles, elle est particulièrement affectée par la problématique des Espèces Exotiques Envahissantes. En effet, l'exemple des rats est assez frappant car en métropole il y a en effectif environ 3 rats par personne tandis qu'à la Réunion il y en a 6. Il convient alors de se demander si la constance d'homogénéisation taxonomique s'applique aussi dans les « îlots urbains insulaires ».

Pour avoir une meilleure compréhension des mécanismes qui sont à l'origine des patrons d'organisation de la biodiversité, il est important d'avoir des approches plus dynamiques de la mise en place des communautés. Le cas de Saint-Pierre et l'Entre-Deux est intéressant en ce

point, car l'étude va permettre de voir l'impact des proportions de bâti et de surface agricole sur les écosystèmes.

Cette étude a aussi l'intérêt de travailler sur les paysages et les conditions géomorphologiques, car la dilution urbaine sur l'île de la Réunion se fait en respectant deux critères :

1. L'éloignement des deux grandes villes (Saint-Pierre ou Saint-Denis)
2. L'altitude, mis apart au Tampon il n'y pas de système urbain dans les « hauts ».

Surveiller la corrélation entre les écosystèmes et la dilution urbaine Saint-Pierre et l'Entre-Deux apporte un intérêt supplémentaire, car étant donné la conformation de cette commune il n'y quasiment qu'une seule route pour y accéder, donc cela permet de travailler dans un « petit laboratoire ». En effet, les autres périphéries et les autres villes n'auront pas d'impact direct sur cette commune.

L'intérêt de cette étude est aussi de prendre en compte les agrosystèmes, et de voir à quel point les impacts négatifs de l'agriculture peuvent palier les résultats de dilution.

En effet, nous considérons que la ville est une « île » sur le plan écologique, et que le principe de colonisation de ces tâches urbaines est assez proche des invasions biologiques. Il serait donc intéressant de voir l'impact d'un changement d'écosystème de la périphérie sur celui du centre-ville.

La Réunion, est axée sur une politique verte et animée par un programme basé sur l'énergie renouvelable. Le projet GERRI (Green Energy Revolution Reunion Island), qui se situe dans la continuité de la mise en place du Parc National de la Réunion et de la Réserve Nationale Naturelle Marine de la Réunion, a pour but de faire de la Réunion le premier territoire au monde d'ici 2030, d'intégration dans la société de toutes les innovations environnementales intéressant les déplacements, la production d'énergie, son stockage et ses usages, ainsi que l'urbanisme et la construction (site de GERRI [3]). Ce projet dépasse les politiques locales *«Ce grand projet est porté par un certain nombre d'institutions qui se sont fédérées et qui sont soutenues par l'Etat. Nicolas Sarkozy en a fait l'un des grands projets de son quinquennat»* (Yves Jégo). Ce travail a pour objectif de comprendre les interactions entre le groupe « aménagements, jardin et le paysage » et le groupe « écosystèmes et biodiversité ». Une meilleure compréhension de l'impact de la typologie des aménagements sur la

biodiversité permettrait de repenser l'urbanisme réunionnais. En effet, ces données permettraient aux décideurs d'avoir de meilleurs outils pour considérer la biodiversité dans une politique d'aménagement urbaine.

3.3. Pertinence du sujet d'étude

L'intérêt de ce travail est d'analyser les écosystèmes urbains et ceux des agrosystèmes de manière quantitative et qualitative, cela afin de comprendre les facteurs biotique et abiotique qui induisent la composition des communautés le long du gradient urbain-rural. Pour ce faire, il faut d'une part, analyser les compositions des espaces verts urbains et leur impact pour les équilibres des écosystèmes urbains ; d'autre part, il est nécessaire de mesurer le rôle des jardins dans la dynamique spatio-temporelle des populations d'insectes, aussi bien de bioagresseurs de cultures que d'auxiliaires.

Dans un deuxième objectif il serait intéressant d'établir un scénario de colonisation des zones urbaines. Cette description de colonisation va permettre de mieux comprendre les compositions de populations faunistique et floristique sur le reste de l'île et surement sur d'autres systèmes urbains tropicaux ou insulaires.

De plus, au delà de l'évolution que peut avoir les écosystèmes dans ces milieux publics il serait intéressant de se concentrer aussi sur les jardins qui recèlent une faune et une flore privatisées pouvant influencer la biodiversité du centre-ville. Certaines études insistent sur le rôle et l'importance de cette biodiversité. En effet, même si elle se compose principalement d'espèces exotiques, celles-ci peuvent héberger des espèces endémiques. Il serait donc judicieux d'étudier, de mesurer cette biodiversité privatisée, afin d'évaluer les interactions et les différences qu'il peut y avoir entre ces jardins et la ville publique en terme écologique.

Afin d'envisager une meilleure considération de la faune et la flore dans les décisions d'urbanisation en ville, il serait intéressant d'évaluer économiquement les impacts que peuvent avoir ces espèces exotiques, dans le but d'avoir une meilleure gestion des écosystèmes du centre-ville aux périphéries.

3.4. Analyse des écosystèmes

Le but de ce travail est de quantifier, d'évaluer et d'analyser les écosystèmes. Ce travail va se faire sur 4 niveaux :

Le premier niveau consiste de faire une évaluation et une identification de la faune et de la flore des villes étudiées. Il s'agit de faire des analyses pour mesurer la biodiversité grâce à des indicateurs.

Le deuxième niveau étudie les résultats de l'analyse de la biodiversité urbaine, afin de pouvoir surveiller l'évolution de la biodiversité en fonction de la dilution urbaine. En effet, le cadre réunionnais permet à la fois de travailler sur une île et avoir un cadre urbain qui pourrait faire rapidement la transition centre ville/parc national. La dilution peut donc être entièrement observée d'un milieu hyperanthropisé à un milieu protégé.

Le troisième niveau permet de faire la comparaison entre les espaces verts publics et les jardins privés. Effectivement, les espaces publics et privés ne nécessitent pas le même entretien. Le fait de pouvoir comparer ces deux éléments permet d'observer à la fois quel est l'impact du soin qu'apporte le « jardinier » à son jardin mais aussi l'impact du jardin sur les espaces verts environnants. La question est intéressante, car les jardins sont composés d'espèces exotiques et d'espèces environnantes, ainsi les jardins peuvent jouer à la fois un rôle de puits et de sources de biodiversité. Il serait donc judicieux à ce niveau d'étude de comprendre et d'étudier les éventuels corridors qu'il peut exister entre ces jardins et ces espaces verts publics.

Quatrième niveau réalise une extension de modèle où il faudra comparer le modèle urbain étudié, à d'autres villes pour regarder les analogies et les différences. Ce travail permettra de mettre en place des patrons sur le comportement des écosystèmes face à l'urbanisme à la Réunion, et éventuellement sur d'autres modèles insulaires.

Études complémentaires

Ce travail vient poursuivre les travaux de l'équipe de Monsieur Clergeau de L'INRA. Plusieurs travaux antérieurs sur les comportements de colonisation et d'invasion du milieu urbain, sur les structures des communautés végétales sous contrainte urbaine ainsi qu'un questionnement récent au sein de l'INRA sur les méthodes d'évaluation des espaces à caractère naturel en système fortement anthropisé, avaient abouti à une collaboration entre différentes équipes de géographes et d'écologues de Rennes et d'Angers. Cette collaboration s'est traduite par la mise en place, au cours de l'année 2002, d'une zone atelier supportant l'ensemble des recherches. Elle est constituée de deux sites correspondant à deux

agglomérations de taille moyenne, Rennes et Angers, afin de mener des études comparatives dans des conditions similaires d'expérimentation.

Cette démarche a fédéré d'autres chercheurs des universités et de l'INRA notamment en parasitologie (CHU Rennes-labo Parasitologie, INRA Theix-labo d'Épidémiologie animale) et sociologie (Université Rennes2-LARES). Aujourd'hui le programme regroupe une douzaine de chercheurs, intègre la collaboration d'une dizaine d'autres et s'appuie également sur un partenariat efficace avec les services municipaux et d'agglomérations.

Ces études préliminaires de l'équipe de L'INRA nous permettent d'avoir des bases scientifiques confirmées, et des protocoles normalisés afin de pouvoir réaliser un travail qui puisse être le plus reconnu possible.

Hypothèses et problématiques

La présentation du cadre d'étude a mis en exergue la présence d'une biodiversité dans les différents milieux composant la ville au sens large (centre-ville, secteur rural, périphérie, etc.).

Cette biodiversité a des effets sur notre société. En effet, les écosystèmes apportent des services qui possèdent différentes valeurs pour la société humaine (économique, socio-culturelle, juridique, de conservation, etc.).

Il a aussi été démontré qu'il existe des relations entre les systèmes « aménagement et activités humaines » et « biodiversité et services ».

En effet, l'activité humaine va jouer sur les écosystèmes qui vont se retrouver changés et vont apporter des services différents (qui peuvent être pénalisants) à la société humaine.

La relation de cause à effet est un élément central qui permet de dégager des lois scientifiques (Fortin, 1996)

L'hypothèse étudiée dans ce travail est donc une hypothèse de causalité qui implique que les systèmes entretiennent une relation sur eux.

Le but de cette partie est de baser les hypothèses générées à partir de théories tirées de littérature scientifique, afin de mettre en place un modèle qui a pour objectif :

Premièrement de vérifier si la théorie s'applique à la Réunion,

Et deuxièmement de mieux appréhender les interactions qui existent entre les deux systèmes.

3.5. Gradient d'urbanisation

Le but d'un tel travail est d'étudier l'organisation des différentes communautés animales et végétales des zones « vertes ». Il s'agit de choisir différentes zones « vertes » inclus dans des

matrices paysagères représentatives de différents gradients d'urbanisation.

Il faudra, pour ce faire, étudier les communautés de « zones vertes » le long d'un gradient d'urbanisation qui suivra l'axe Saint-Pierre / Entre-Deux. Le choix des sites doit représenter une évolution uniforme des gradients d'urbanisation.

Les prélèvements et les piégeages se feront de manière synchronique car il

est impossible à court terme de réaliser un suivi. Néanmoins, le travail envisagé prend en compte un gradient d'urbanisation, qui peut substituer à un suivi de ces zones.

Zones étudiées

Choix des zones étudiées

Ce travail a pour but de comparer l'état des écosystèmes en fonction de la nature de l'anthropisation (urbain ou rural). Pour ce faire, il est nécessaire de choisir au minimum deux communes :

1. une commune urbaine (Saint-Denis ou Saint-Pierre) qui représentera le centre-ville ;

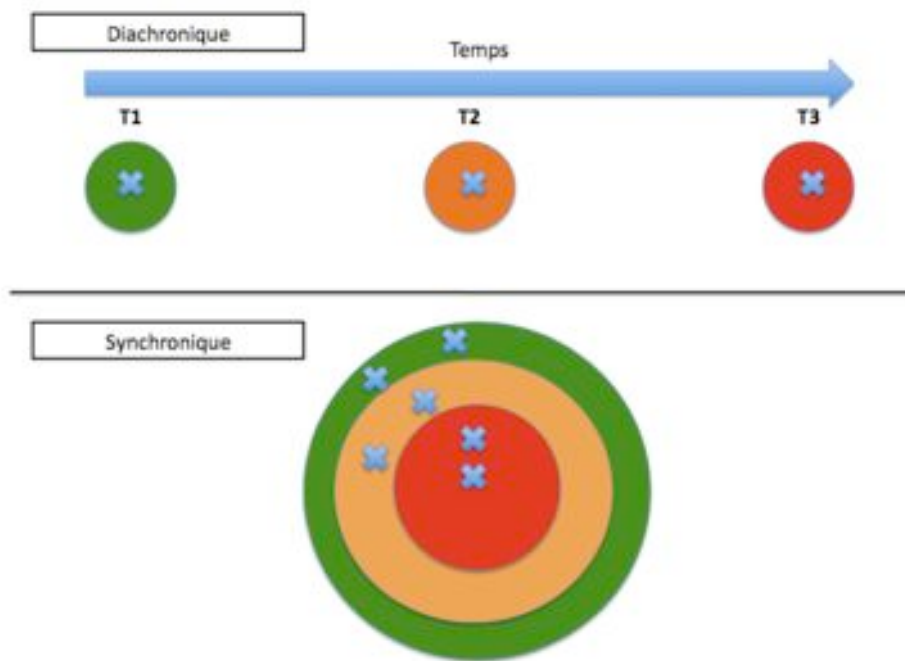


Figure 5: temps et données

2. une commune rurale (Entre Deux, Salazie), qui sera la périphérie.

Les communes choisies par l'équipe des encadrants de ce mémoire sont Saint-Pierre et l'Entre-Deux.

Saint-Pierre

La commune de Saint Pierre se situe dans la partie sous le vent de l'île. Elle est limitée à l'ouest par la rivière Saint Etienne, à l'est par la ravine de l'Anse et au nord, par une ligne conventionnelle suivant approximativement la côte des 400. Saint Louis, Le Tampon,



Figure 6 cliché de saint pierre, source: google earth

L'Entre-Deux, La Petite Ile sont les communes voisines de Saint Pierre. Cette dernière occupe la position sud par rapport à la capitale, Saint-Denis, dont elle est éloignée de 87 km (RN1), de 126 km (RN2) et 88 km (RN3).

Le centre urbain est limité au nord par le canal Saint Etienne, au Sud par l'Océan Indien, à l'Est par la ravine du Trou du Sas, à l'ouest par la ravine Blanche.

Actuellement, la ville s'étend sur 487 hectares et se compose, d'un centre autour duquel sont venus s'ajouter les quartiers périphériques comme le quartier de Terre Sainte (Terre de Sinthes à cause des bois qui y poussaient autrefois)

La zone Ouest qui a pris de l'extension grâce à une zone industrielle : Ravine Blanche, Pierrefonds, Bois d'Olivres, Ravine des Cabris, Ligne Paradis, Ligne des Bambous, concession Condé. La zone est : Ravine des Cafres, Grands Bois, la Cafrine, Mont-vert les Bas, Mont-Vert les Hauts

L'Entre-Deux

La commune de l'Entre-Deux se situe au sud de l'île de La Réunion, sur les contreforts du cirque de Cilaos. Elle



Figure 7 cliché de l'Entre-Deux, source:

est bordée à l'Est et à l'Ouest respectivement par le Bras de la Plaine et le Bras de Cilaos. Qui se rejoignent à l'extrême Sud de la commune pour former la rivière Saint-Etienne. Son altitude varie entre 114 et 2300 mètres (« sommet du Dimitile »).

Si nous considérons le point central de la commune la mairie de ces 2 villes sont à une distance d'environ 10 km à vol d'oiseau. Elles possèdent une différence altitudinale de 370 mètres.

Justification de ce choix

Pour faire cette thèse, la zone sud est intéressante car elle possède une grande ville qui, sur le plan urbain surpasse réellement les autres. Il est donc plus facile d'étudier son impact sur les autres régions.

De plus la zone de Saint-Pierre offre un bon gradient de dilution urbain. En effet, elle permet de faire le lien entre un centre urbain (en rouge sur la figure 8) et un parc national sur une distance (vert sur la figure 8) relativement courte. Par plus la commune de l'Entre-Deux, qui se situe dans la périphérie urbaine de Saint-Pierre est intéressante de part ses méthodes agricoles et son intérêt pour l'agroécologie. En effet, si une mise en place uniforme de



Figure 8: carte du gradient d'urbanisation de Saint-Pierre (source google earth)

l'agroécologie se met en place sur la commune de l'Entre-Deux. Un suivie serait alors pertinent pour observer les changements écologiques que peuvent entraîner ces modifications

de méthodes agricoles, aussi bien dans la zone périphérique que sur le centre, le secteur urbain, et le Parc National.

Selon la définition de Diry, en 2004, les données en occupation du sol permettent de définir une identité (rurale ou urbaine) de la zone étudiée. Les tableaux suivants illustrent les différences qu'il peut y avoir entre ces deux communes sur la gestion de l'occupation du sol. Il paraît clair, face à ces résultats, que Saint Pierre est plus urbaine que l'Entre-Deux. De plus en comparant à la moyenne de la Réunion nous pouvons montrer que la commune de l'Entre-Deux est plus rurale et inversement Saint-Pierre est plus urbaine que la moyenne.

%	agri+vide+forêt	Bâti	densité de population
Entre -Deux	89,08382066	9,941520468	283
St Pierre	67,96008869	32,15077605	765,1
La Réunion	82,61466276	17,32199413	358,2975

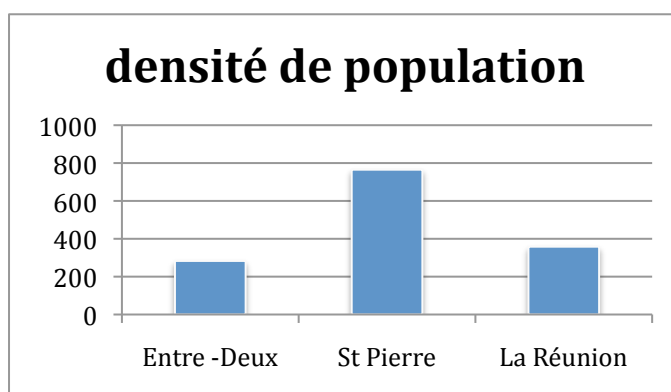


Figure 9: densité des populations dans les trois régions étudiées

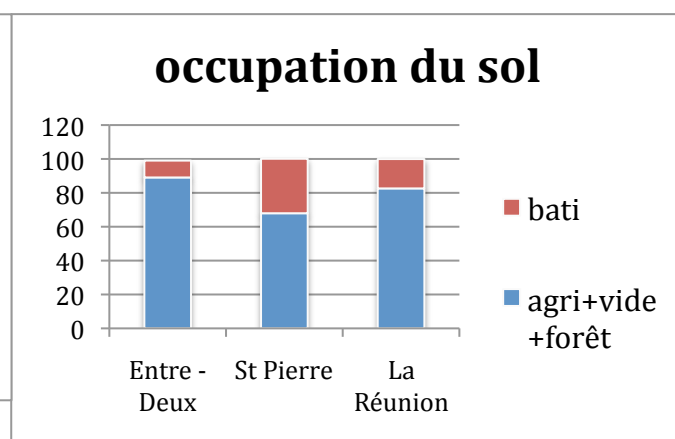


Figure 10: occupation du sol dans les trois régions étudiées

La dichotomie entre ces communes est également intéressante dans le sens où il y a un gradient altitudinale et que l'Entre-Deux est en partie dans la zone d'adhésion du Parc National de la Réunion.

3.6. Choix des modèles et du site

Hierarchisation des entités urbaines.

Dans le système urbain autour de Saint-Pierre il n'est pas évident de définir les entités urbaines. En effet, savoir où est la différence entre l'urbain et le rural est une réelle problématique car dans ce cas de figure, il ne s'agit pas réellement de frontière mais plus de transition. Entre la capitale d'une région et les petits villages tous les degrés d'urbanité ou de ruralité sont possibles.

C'est pour cela qu'il est intéressant d'utiliser des critères qualitatifs (la reconnaissance juridique et administrative) fixant des catégories relativement strictes. Néanmoins, à l'inverse les critères quantitatifs déterminent une gradation progressive.

Pour une étude des écosystèmes il est donc pertinent d'utiliser les deux critères pour avoir un modèle le plus valide possible.

Il est donc intéressant d'utiliser dans un premier temps les limites administratives, pour délimiter les différentes régions concernées.

Après avoir délimiter ces régions, il est possible de faire une analyse cartographique pour obtenir la concentration du bâti dans ces différentes régions afin de leur affilier une certaine identité urbaine ou rurale. Cette analyse prend aussi en compte la hauteur moyenne des bâtiments.

De plus, il serait intéressant de juxtaposer ces résultats avec ceux de la densité urbaine.

Ces différents niveaux d'analyse permettent à la fois de faire la distinction entre les différentes régions du système urbain afin de leur affilier des identités, mais ils permettent aussi de faire la part des choses entre les zones administratives et les zones résidentielles afin de mieux conjecturer le type de fréquentation.

Analyse de la biodiversité

Pour réaliser ce travail nous devons choisir des modèles qui définissent au mieux la biodiversité urbaine et « campagnarde » réunionnaise. Pour cela il est nécessaire définir des critères de sélections.

Il s'agit à la fois de mesurer la diversité ainsi que la structure des communautés. Pour ce faire la méthode la plus adaptée est l'indice de Hill. L'indice de diversité de Hill permet d'obtenir une vue encore plus précise de la diversité observée. La mesure des individus les plus abondants sera faite grâce à l'indice de Simpson. L'indice de Shannon-Weaver va en revanche permettre de mesurer le nombre effectif d'individus abondants mais surtout des espèces rares. Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1, et plus la diversité est faible. Afin de faciliter l'interprétation, il est alors possible d'utiliser l'indice 1-Hill, où la diversité maximale qui sera représentée par la valeur 1, et la diversité minimale par la valeur 0 (Marcon, 2006). Ici, l'indice de Hill semble le plus pertinent dans la mesure où il intègre les deux autres. Toutefois, il peut être utile d'utiliser les trois indices conjointement afin d'en extraire un maximum d'informations et de mieux comprendre la structure des communautés (Marcon, 2006).

Cette analyse peut être affinée par une approche par groupe écologique. Pour ce faire il faut classer les organismes par groupe fonctionnel, sur la base des caractéristiques recherchées pour analyser notre modèle (pollinisateur, détritivore, nuisible, etc.). La réponse des groupes face aux variations de l'environnement traduit alors les tendances générales d'évolution du peuplement dans son ensemble. Ces tendances ne sauraient être détectées par l'étude d'une espèce particulière trop peu représentative ou des paramètres structuraux (richesse spécifique, Abondance, biomasse) trop généraux.

Les critères de choix des modèles doivent donc prendre en compte :

La répartition : ils doivent être plus ou moins présent dans tous les niveaux du gradient urbain pour pouvoir être comparé.

La fonction écologique : il serait intéressant de savoir quels rôles jouent ces écosystèmes.

Il serait judicieux de travailler sur 3 types d'espèces, comme les détritivores, les pollinisateurs et les ravageurs.

UN COPROPHAGE :

Le modèle des coléoptère coprophages ou bousier est intéressant dans cette étude. Ce modèle est pertinent de part sa présence dans de nombreux endroits, en effet, selon la littérature



Figure 11: photo de bousier source 1

scientifique il est possible de dénombrer plus de 7000 espèces de

coléoptères coprophages dans le monde dont 181 inventoriés en France. Les principaux facteurs qui agissent sur leur écologie, leurs répartitions et leur importance relative et la richesse des familles sont :

- La structure de la végétation
- Le type de sol et son exposition
- La nature et l'abondance du pâturage
- La pratique de brulis

Il est possible de répartir les bousiers en 3 familles : les *scarabeidae*, les *aphoiidae*, les *geotrupidae*.

D'un point de vue écologique, les bousiers peuvent être répartis en 3 guildes, selon leur mode d'exploitation des excréments :

- Les résidents qui colonisent l'excrément et dont la larves se développent au sein même de la manière stercorale ou l'interface sol-bouse (Genre *aphodius*)
- Les fouisseurs, qui s'affranchissent des contraintes liées à la dessiccation rapide de l'excrément en creusant directement dessous un nid profond approvisionné directement à partir de la surface (genre *Geotrupes*, *Onthophagus*, *Caccobius*, *Euoniticellus*, *Copris*)
- Les rouleurs, qui transportent à distance des fragments de matière stercorale façonnée en boules qu'ils enfouissent ensuite (genres : *Scarabeus*, *Gymnopleurus*, *Sisyphus*).

Le modèle du bousier est intéressant car il est un bon indicateur de biodiversité. En effet sa présence sera une bonne preuve du bon fonctionnement de l'écosystème.

De plus les bousiers permettent le recyclage des matières organiques (excréments), il peut donc jouer un rôle important dans les agrosystèmes.

UN POLLINISATEUR :

Depuis déjà plusieurs années, les abeilles s'imposent comme des bio-indicateurs d'une grande qualité qui permettent de donner des informations sur l'état de l'environnement. Les abeilles domestiques jouent un rôle clé dans les écosystèmes terrestres.



Figure 12: photo d'une *Apis mellifera* (source 1)

Effectivement, sans leur intervention la grande majorité des phanérogames ne parviendrait pas à accomplir leur cycle de reproduction (Rafalimanana, 2003). Malgré la difficulté d'évaluation de l'impact de la pollinisation des insectes, des recherches ont montré que l'incidence de la pollinisation serait de 84% pour les espèces végétales cultivées dans certaines régions (Haubrugues et *al.*, 2006). La contribution économique de ces insectes à l'agriculture mondiale est estimée à 117 milliards de dollars US (Costanza et *al.*, 1997). De plus comme le bousier l'abeille est un indicateur du fonctionnement des écosystèmes.

La fécondation n'est pas l'unique service que nous rend ces hyménoptères. En effet, ces insectes possèdent d'autres rôles (Haubrugues et *al.*, 2006) :

- La production de miel de propolis et de gelée royale
- Le maintien de la diversité génétique
- La constitution d'un modèle biologique comportemental de rôle majeur
- La représentation d'un bio-indicateur d'intérêt majeur

L'abeille est un insecte eu-social qui peut être défini selon trois critères : une coopération entre les individus adultes dans l'entretien du couvain, une présence simultanée d'au moins deux générations d'adultes et l'existence d'une division reproductible du travail (Wilson, 1971). Les abeilles sont organisées selon une structure sociale bien établie, constituée de trois castes: les ouvrières, la reine et les faux-bourçons. Une colonie d'abeilles peut comprendre en

été jusqu'à 60 000 individus auxquels s'ajoute le couvain. Cette population est formée de 95 % d'ouvrières, qui ne s'accouplent pas et ne pondent pas tant que la reine est vivante, et à 5 % d'individus sexués, les faux-bourçons. La répartition des individus en castes s'associe à des différences anatomiques, physiologiques et comportementales bien définies (Seeley, 1995).

DES RAVAGEURS :

Le modèle des mouches des fruits et des légumes (famille des tephritidae) convient bien à cette étude. Il est possible de citer 8 espèces de cette famille qui ont une importance économique à la Réunion. L'une de ces espèces est endémique des Mascareignes. Quatre d'entre elles sont nuisibles aux cultures légumières, les quatre autres sont plus polyphages et s'attaquent aux cultures fruitières de plusieurs familles botaniques. Ces espèces possèdent de forts enjeux économiques. En effet, la somme qui équivaut aux pertes et la mise en place de méthode de lutte, dépasse le million d'euros par an (Brunge-vivier, 1993).

Nom complet : *ceratis catorii* Guerin-Méneville, 1843

Nom vernaculaire : la mouche des Mascareignes

Tribu : Ceratidini

Répartition : désormais endémique de la Réunion (espèce menacée)

Gamme d'hôtes : polyphage en théorie. En pratique n'est plus signalée que sur trois hôtes réguliers.



Nom complet : *Ceratis capitata* (Wiedemann, 1824)

Nom vernaculaire : la mouche méditerranéenne des fruits

Tribu : ceratidini

Répartition : quasi cosmopolite (zones tropicale, subtropicale et méditerranéenne), Amérique du nord. Détecté à la Réunion en 1939

Gamme d'hôtes : très polyphages, on lui connaît 357 fruit hôtes dans 67 familles



Nom complet : *Ceratitis rosa* (Karsch, 1887)

Nom vernaculaire : la mouche du natal

Tribu : Ceratidini

Répartition : Afrique du sud et de l'est, Mascareignes, détectée à la Réunion en 1955

Gamme d'hôtes : très polyphage. A la Réunion 56 plantes hôtes



Nom complet : *Neoceratitis cyanescence* (Bezzi, 1923)

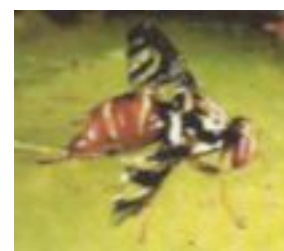
Nom vernaculaire : La mouche de la tomate

Tribu : Ceratidini

Répartition : Madagascar, mascareigne, découvert à la Réunion en 1951

Gamme d'hôtes : oligophage, inféodée au solanaceae

Nom complet : *Dacus ciliatus* Loew, 1862



Nom vernaculaire : la mouche éthiopienne des curcubitacées

Tribu : Dacini

Répartition : Afrique, Inde, Moyen Orient, Mascareigne

Gamme d'hôtes : Oligophage, inféodée aux curcubitaceae



Nom complet : *Dacus demmerzi* Bezzi, 1917

Nom vernaculaire : la mouche du curcubitacées

Tribu : Dacini

Répartition : Madagascar, Mascareignes, détecté à la Réunion en 1972

Gamme d'hôtes : Oligophage à large gamme d'hôtes. 125 hôtes signalés, majoritairement des curcubitacées



Nom complet : *Bactrocera curcubitae* (Coquillett, 1899)

Nom vernaculaire : La mouche du melon

Tribu : Dacini

Répartition : Asie-Pacifique (Pakistan-Philippines), Afrique de l'est, Mascareignes, détecté à la Réunion en 1972.

Gamme d'hôtes : Oligophage à large gamme d'hôtes, 125 hôtes signalés, majoritairement des curcubitaceae.



Nom complet : *Bactrocera zonata* (Saunders, 1842)

Nom vernaculaire : la mouche de la pêche

Tribu : Dacini

Répartition : Afrique du nord est (Kenya, Egypte), Asie du sud est, Mascareignes, détecté à la Réunion en 1991

Gamme d'hôtes : Polyphage. Une trentaine d'hôtes connus.



Les jardins

Le but de ce travail est de mettre en évidence la biodiversité des jardins. Pour ce faire, il faudra demander l'autorisation à des propriétaires pour réaliser des piégeages tout le long du gradient de centre-ville de Saint-Pierre à l'Entre-Deux. Ce travail aura pour objectif d'abord de voir si les écosystèmes des jardins suivent la même évolution que les espaces verts tout au long de la dilution urbaine. Il pourra également mettre en évidence la dimension et les caractéristiques des jardins, ainsi que l'impact de l'entretien artificiel sur cette biodiversité.

3.7. Projet de thèse

Cadre d'étude

Depuis la sédentarisation l'homme aménage un grand nombre de territoires, cette modification entraîne une perturbation des conditions biotiques et abiotiques initiales.

La faune et la flore urbaines forment un écosystème tout à fait original car la forte empreinte de l'homme fait qu'il est soumis à toutes les formes de contraintes anthropiques (diverses pollutions, perturbations liées à la simple présence de l'homme, et impact des modifications du paysage) (Venn *et al.*, 2003). Néanmoins, cette empreinte écologique de l'homme peut à la fois engendrer des impacts néfastes ou profitables à certaines espèces.

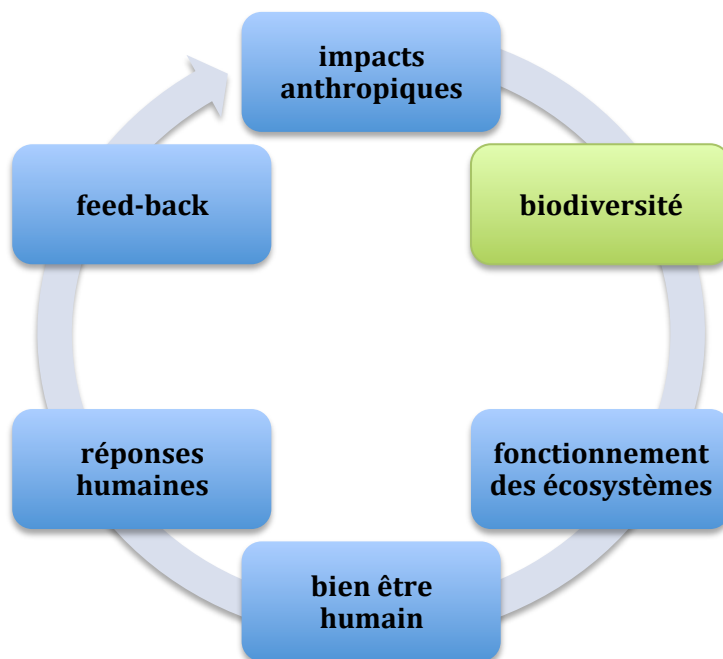
L'activité humaine dans ces villes perturbe donc les écosystèmes et change la dynamique des communautés et le comportement des populations animales et végétales (Clergeau, 2004).

Les études ont montré que les écosystèmes urbains peuvent être considérés comme des milieux insulaires. La répartition de la faune et la flore urbaine respecte des schémas d'organisation précis qui se retrouvent dans plusieurs villes.

La problématique rurale ne possède pas cette particularité insulaire, la flore des paysages agricoles est fortement concentrée dans les bords de champs (Wilson et Aebischer, 1995) où la biomasse, la densité et la diversité des espèces ont été réduites par l'utilisation des herbicides, en particulier les herbicides non sélectifs comme le glyphosate (Chiverton et Sotherton, 1997) et par l'emploi des insecticides (Deguine *et al.*, 2008). La démographie des insectes, qui sont généralement inféodés à cette flore sauvage, diminue fortement de par la réduction des habitats qui ne sont pas forcément connectés.

Il est maintenant acquis que la biodiversité joue un rôle important dans la durabilité des écosystèmes. En effet, ce sont les interactions entre les êtres vivants qui sont à la base de la durabilité d'un système. Certains auteurs précisent même que le développement durable ne peut se faire que par la sensibilisation préalable des différentes générations à une nature disponible et spontanée. De plus les enjeux économiques de ces espèces sont relativement grands, entre les services (35% de l'agriculture mondiale dépend de l'action de pollinisateurs comme les abeilles, les oiseaux et les chauve-souris) et les espèces exotiques envahissantes (la spongieuse (*Lymantria dispar*), chenille introduite en Caroline du Nord en 1993 et éradiquée quatre ans plus tard, a entraîné des dépenses de 19 millions \$). L'intérêt de l'aménageur est d'évaluer avec le maximum de précision le facteur biodiversité afin de minimiser les dépenses dues à une mauvaise gestion du patrimoine naturel.

Il est possible, en utilisant une vision systémique, de considérer le rôle de la biodiversité dans un système de fonctionnement anthropique de la manière suivante (Carpenter et *al.*, 2009) :



Problématique

Face à ce constat du rôle de pierre d'assise de la biodiversité dans l'aménagement durable, se dessine la problématique des interactions entre le système « aménagements et activités de

l'homme » et « écosystèmes et services ». En effet, il est intéressant d'observer tout le long d'un gradient d'urbanisation comment « l'empreinte écologique » peut influencer la nature et si cette nature « changée » peut influencer l'activité socio-économique. La problématique se situe aussi dans la stratégie de recherche et les enjeux scientifiques, il est nécessaire de mettre en place une conceptualisation fiable d'un modèle holistique qui doit faire l'articulation des sphères économique, sociale et environnementale du développement durable.

Ce projet de thèse s'inscrit à l'intersection de différentes disciplines. L'objectif du travail engagé est de mettre en relation les écosystèmes qui se développent au sein de différentes formes urbaines et les impacts anthropiques générés mesurés à travers l'utilisation de pesticides et la consommation énergétique.

Hypothèses

L'hypothèse de départ est que les différentes formes urbaines, telles qu'elles sont construites par les politiques d'aménagement du territoire sont impactantes sur la biodiversité de nombreuses façons (introduction d'espèces exotiques envahissantes, destruction d'habitats, pollution, etc). Ce travail se focalise sur trois aspects :

1. Le premier est une différenciation de l'occupation du sol (densité du bâti, infrastructure routière),
2. Le deuxième est une différenciation de la consommation énergétique des ménages,
3. Le troisième est une différenciation des pratiques en matière d'utilisation de pesticides / insecticides.

Notons que les différentes formes urbaines comprennent, ici, non seulement les villes, au sens *stricto-sensu* du terme, mais tous les espaces caractérisés par l'existence du bâti et d'activités économiques.

Les impacts de ces comportements en matière de biodiversité locale, c'est-à-dire sur les écosystèmes de chaque type d'espace sont fondamentaux et peuvent se mesurer de façon plurielle : la variété des espaces verts, le nombre et les différentes espèces d'insectes, etc. Il est dès lors possible de construire un modèle permettant de mettre en relation l'effet des différentes formes urbaines et la biodiversité.

Méthodologie

Ce travail requiert un ensemble d'outils méthodologiques issus de disciplines différentes : la biologie et l'écologie, l'urbanisme et l'aménagement de l'espace, l'analyse énergétique.

En matière d'aménagement de l'espace, il est important de déterminer les critères permettant de mesurer la présence anthropique sur l'espace physique : la densité de population, les surfaces bâties et le ratio de surfaces économiquement utilisées sur les surfaces naturelles sont des premiers indicateurs. En matière d'étude de la biodiversité, les méthodes de comptage de communautés de végétaux, des insectes ou des oiseaux doivent être comparées, afin de trouver la plus adéquate. Dans cette analyse il s'agit de mettre en valeur une évaluation des services des écosystèmes, ce travail a pour objectif de montrer les impacts économiques et sociaux que peuvent avoir certains aménagements et comportements après interactions avec la biodiversité environnante. Enfin, concernant la consommation énergétique, il est intéressant d'analyser les comportements en matière d'utilisation primaire d'énergie et de coût énergétique et non pas en matière de consommation TEP, ce qui permet de mieux déceler les impacts environnementaux et les stratégies des acteurs.

Ce travail sera mené sur un « couloir » urbaniste assez diversifié, allant du centre ville de Saint Pierre aux abords du Parc National de la Réunion, en passant par l'Entre-Deux.

Ce travail, mené au sein du CIRAD et son équipe, exige également la collaboration des chercheurs en urbanisme et en énergie du Laboratoire de Physique du Bâtiment et des Systèmes (LPBS). Il sera encadré par M.Dimou, Professeur en Urbanisme et Aménagement de l'espace et J-P.Deguine, chercheur au CIRAD.

Conclusion



4. Conclusion

La perception de la nature et du vivant a fortement évolué depuis moins d'un siècle. Au milieu du XX^{ème} siècle il était possible de lire dans les manuels scolaires français « presque tous les insectes, sont nuisibles, il faut leur faire une guerre acharnée ». En effet, la faune était classée en deux catégories les « utiles » et les « nuisibles ». Cette vision de l'environnement était basée sur le fait que la nature doit se passer d'un bon nombre d'espèces pour optimiser le développement économique et social. Cependant, dans les années 1980 face à la découverte des troubles environnementaux et l'érosion de la biodiversité que l'activité humaine avait pu engendrer, il y a eu une poussée des mouvements « écologiques », et une apparition d'un sentiment général de culpabilité face à la destruction des espèces. De plus les ONG de conservation de la nature ont joué un puissant rôle de sensibilisation. Le sommet planétaire de Rio de Janeiro en 1992 a marqué une entrée en force de la biodiversité sur la scène internationale.

La biodiversité est devenue un réel enjeu pour la société, elle se présente au carrefour des sciences de la nature dans la recherche d'un système aussi bien complexe qu'indispensable au bon fonctionnement des écosystèmes et sciences humaines pour la découverte d'une réelle valeur économique, socioculturelle etc.

En effet, les services de la biodiversité ont une valeur holistique qui est difficile à chiffrer. Cependant, les recherches économiques et écologiques ont pu évaluer une partie de ces services et démontrent l'importance des sommes économiques que la biodiversité peut véhiculer : 159 milliards d'euros pour les pollinisateurs dans l'agriculture, plusieurs milliards d'euros pour la lutte contre les espèces exotiques envahissantes. Ce travail a conféré certain un poids politique à l'équilibre des écosystèmes et à la biodiversité dans notre société.

La conservation de la biodiversité dans une aire protégée est un pis-aller qui n'engage que le court terme. En effet, cette nature ne doit pas être segmentée, divisée dans des aires de protections sans connexion évidente. Elle ne doit pas non plus, uniquement jouer un rôle d'étendard, via des espèces charismatique, du développement durable. Le fonctionnement des écosystèmes est un élément utile, rentable voire indispensable à une pérennisation de l'économie et de l'aménagement.

La nature est présente aussi bien en ville qu'en campagne, l'organisation de ces écosystèmes est relativement homogène entre les différentes régions du monde, malgré les différences climatiques. Ces organisations ont mis en évidence le fait que c'est véritablement l'homme, ses infrastructures et ses activités qui sont les principaux acteurs dans la mise en place de ces écosystèmes.

Il apparaît évident que dans la mise en place d'une politique de développement durable, il est intéressant d'intégrer la biodiversité dans les plans d'aménagement ainsi que dans la consommation d'énergie et des autres ressources. Cette intégration permet de faire de la conservation une partie prenante d'une vision globale de l'aménagement du territoire. En effet, pour les zones agricoles et urbaine, le développement durable, garant d'une bonne gestion de la biodiversité, est nécessairement un compromis entre ce qui est économiquement intéressant, techniquement possible et écologiquement acceptable.

Cependant, pour mettre en place une telle articulation entre les différentes disciplines, il est important de savoir quelles sont les interactions entre la biodiversité et les activités humaines dans les zones anthropisées. Effectivement, il est nécessaire d'obtenir une base scientifique pour guider la pratique et assurer la crédibilité d'une nouvelle forme d'aménagement et de gestion des ces zones. Pour ce faire, la recherche dans ce domaine paraît être la clé de voute pour élargir le champ de connaissance dans le domaine des interactions « homme-nature ». Le fruit de ces recherches peut apporter un champ de connaissance dans plusieurs professions qui iront de l'aménageur à l'agriculteur, en passant par l'architecte.

Ce mémoire se positionne dans cette démarche d'étude de la biodiversité des zones aménagées. En effet, le but de ce mémoire est d'apporter une contribution à la connaissance des écosystèmes en milieux urbains et ruraux. De plus, il semble que les interactions entre les villes et la nature ne sont que trop peu étudiées à la Réunion, pour en faire un territoire et un laboratoire de développement durable. C'est pour cette dernière raison que ce travail propose un modèle d'étude de conceptualisation des patrons d'organisation des écosystèmes afin d'évaluer et quantifier le biodiversité dans un gradient de paysages du centre-ville de Saint-Pierre au Parc National de la Réunion en passant par les agrosystèmes de l'Entre-Deux. Néanmoins, ce travail ne permet pas de pouvoir apprécier les interactions ainsi que leur vecteurs entre l'homme et la nature. En effet, à ce stade de réflexion, se profile la question de la nature des impacts réciproques entre les activités liées aux différentes zones de la ville et de la campagne et la biodiversité. En Complémentarité à ce protocole d'étude d'interactions, ce

mémoire propose un projet de thèse qui met en place un moyen d'avoir une plus grande connaissance dans les interactions « homme-nature ».

Dans un angle de réflexion de gestion du territoire durable, la mise en place de ce travail s'inscrivant dans une nouvelle forme d'aménagement et de conservation, est importante. La résolution du problème de réconciliation entre l'activité anthropique et la biodiversité dans la ville et la campagne peut paraître gageur. Cependant, l'absence de réaction risque d'engendrer une banalisation des perturbations anthropiques de la biodiversité ainsi que leurs implications dans les changements globaux de l'environnement. Il ne s'agit pas de mettre en place un plan d'aménagement totalement innovant et chimérique, mais d'appliquer dans les situations les plus optimistes de nouvelles lignes de conduite. En effet, cette évolution tend à faire de la biodiversité non plus un domaine réservé à un certain groupe d'intérêt, mais une préoccupation s'inscrivant dans l'inconscient collectif, qui demande l'attention d'un maximum de protagonistes issus de différents domaines et milieux.

5. Bibliographie

- A -

Atkinson IAE, 1985. The spread of commensal species of *Rattus* to oceanic islands and their effects on island avifaunas. *IPCB Technical Publications*, 3, 35-81.

Arthur, R. H., Wilson E. O. (1963). An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* (17) :373-387.

- B -

Barbault R., (2000), *Ecologie Générale: structure et fonctionnement de la biosphère*, 5^{édition}, Paris, Dunod..

Beaujeu-Garnier.J., 2006, *Géographie urbaine*, Armand Colin

Blair RB 1996. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications* 6 : 506-519.

Boukhris Bouacherm S. *et al.*, 2007. *Solanum elaeagnifolium*, a potential source of Potato virus Y (PVY) propagation. *Bulletin OEPP*. Volume 37. 125- 128

Burnham.K. P. et Overton, W. S. (1979). Robust Estimation of Population Size When Capture Probabilities Vary Among Animals. *Ecology* 60(5): 927–936.

- C -

Carpenter S. R. et al., 2009, Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNAS*, 106: 1305-1312

Chapuis J-L., Frenot Y., Lebouvier M., 2002. Une gamme d'îles de référence, un atout majeur pour l'évaluation de programmes de restauration dans l'archipel de Kerguelen. *Rev. Ecol.* (2005) supplément 9.

Chiverton, P.A. & .Sotherton, N.W., 1991. The effects on beneficial arthropods of the exclusion of herbicides from cereal crops. *Journal of Applied Ecology*, 28: 1027–1039.

Cihakova J, Frinta D (1996) Intraspecific and interspecific behavioural interaction in the wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) and the yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) in a neutral cage. *Folia Zool* 45(2):105–113

Clergeau P, Savard JPL, Mennechez G et Falardeau G 1998. Bird abundance and diversity along an urban-rural gradient: a comparative study between two cities on different continents. *Condor* 100 : 413-425.

Clergeau P. Desiré G., 1999, biodiversité paysage : du corridor à la zone de connexion biologique, *mappe monde*, 19-23

Clergeau P, Croci S et Jokimäki J 2004. How useful are urban island ecosystems for defining invader patterns? *Environmental Conservation* 31 : 181-184.

Clergeau.P., Le programme ECORURB : comprendre les effets de l'urbanisation sur la biodiversité locale et l'émergence de risques biologiques <http://www.symposcience.org/exl-doc/colloque/ART-00000144.pdf>. Consulté le 15/04/2009

Croci S., thèse 2007. Urbanisation et biodiversité, traits biologiques et facteurs environnementaux associés à l'organisation des communautés animales le long d'un gradient rural-urbain. Thèse présentée à l'Université de Rennes pour obtenir le diplôme de DOCTORAT.

- D -

Davis, A. M. et Glick T. F. (1978) Urban Ecosystem and Island Biogeography. *Environment Conservation*, 5 : 299-304.

Debussche M., Leppart J., Dervieux A., 2004, Mediterranean landscape changes: evidence from old postcards. *Global ecology et biogeography*. Volume 8 issue 1 : 3-15

Detaint M, Coïc C., 2006 La Grenouille taureau *Rana catesbeiana* dans le sud-ouest de la France. Premiers résultats du programme de lutte. *Bull Soc Herpetol France* 117:41–56

Di Castri, F., Drake, J., Groves, R., Kruger, F., Mooney, H., Rejmanek, R., Williamson, M. 1989. Biological Invasions: A Global Perspective. John Wiley & Sons, NY.

Diry J.P., 2004, *les espaces ruraux*, éditions SEDS, p191-9

Dobson A., (2005), "Monitoring global rates of biodiversity change: challenges that arise in meeting the Convention on Biological Diversity (CBD) 2010 goals", *Philosophical Transactions of the Royal Society B.*, n°360, pp. 229-241

Dudley N., Baldock D., Nasi R. and Stolton S., (2005), "Measuring biodiversity and

sustainable management in forests and agricultural landscapes”, *Philosophical transactions of the Royal Society B*, 360, 457-470

- E -

Énault.C, 2006, Étalement et morphologie urbaine et communes de l’île de la Réunion,

- F -

Fontier.S. 1993, *écosystème, structure, fonctionnement, évolution*, Dunod, Paris

Forman, R.T.T. & M. Goudron. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley. New York.

- G -

Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., Vaissière, B. 2008. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline . *Ecological Economics*.

Godefroid S., 2001. Temporal analysis of the Brussels flora as indicator for changing environmental quality. *Landscape and Urban Planning*, 52 : 203-224.

Groombridge.B. (1994) biodiversity data sourcebook, Cambridge, *World Conservation Press*.

- H -

Haubruge, E, Nguyen, B-K, Wildart, J, Thomé, J-P, Fickers, P & Depauw, E (2006) - Le dépérissement de l'abeille domestique, *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera : Apidae) : faits et causes probables. Notes fauniques de Gembloux, 59(1) : 3-21

Holling C.S., (1973), “Resilience and stability of ecological systems”, *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol.4, pp.1-24.

- J -

Jauze J. M., Ninon J. (1999), Dynamiques et expressions de la périurbanisation à la Réunion , *Les Cahiers de l’Outre- Mer*, n°206, année 52

-K-

Kowarik, I. (1995). Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. In : Plant invasions - general aspects and special problems. P. Pysek, K. Prach, M. Rejmànek, P. M. Wade (eds). SPB Academic, Amsterdam, The Netherlands. pp. 15-38.

Krebs C.J., (2001), *Ecology*, San Francisco, Benjamin Cummings, 695p.

-L-

Lévêque.C. et Mounolou.J.C., 2008, *Biodiversité*, Dunod, Paris

Levrel Harold., thèse 2006.biodiversité et développement durable : Quels indicateurs ?. Thèse présentée à Ecole des hautes études en sciences sociales pour obtenir le diplôme de DOCTORAT.

Leston LFV et Rodewald AD 2006. Are urban forests ecological traps for understory birds? An examination using Northern cardinals. *Biological Conservation* 131 : 566-574.

Loreau M., Naeem S., Inchausti P., Bengtsson J., Grime J.P., Hector A., Hooper D.U., Huston M.A., Raffaelli D., Schmid B, Tilman D. and Wardle D.A., (2001), "Biodiversity and Ecosystem Functionings : Current Knowledge and Future Challenges", *Science*, vol.294, 26 October 2001, pp.804-808.

-M-

McKinney M-L., 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127 : 247-260.

Machon.M. et Muratet.A., 2008, flore en ville, entre l'homme et la nature, une démarche pour des relations durables, reserve de biosphère-note technique.

Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM, Evans H, Clout M et Bazzaz FA 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* 10 : 689-710.

Magnanou E., thèse 2005. Micromammifère Helminthes et insularité : Evolution des traits de vie du rats noir (Muridae) et des deux musaraignes (Crocidae) sur les îles ouest-méditerranéennes. Thèse présentée à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de

Montpellier pour obtenir le diplôme de DOCTORAT.

Marcon.E.,2006, Mesure de la biodiversité, UMR, *écologie des forêts de guyanne*.

Merlin.P & Choay.F., 2005, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, quadrige

Müller S. *Plantes invasives*. 2004

Myers, N., RA Mittermeier, CG Mittermeier, GAB da Fonseca, et J. Kent. 2000. Biodiversité pour les priorités de conservation. *Nature* 403:853-858

- N -

Niemelä J., 1999. Ecology and urban planning. *Biodiversity and Conservation* 8 : 119-131.

- O -

Olden J-D. et Poff NL., 2003. Toward a mechanistic understanding and prediction of biotic homogenization. *American Naturalist* 162 : 442-460.

- P -

Pascal M., Loverlec O., J. D. Vigne. Rapport juillet 2003. Evolution holocène de la faune des vertébrés en France : invasion et extinction.

Prevot-Julliard A-C., Cadi A., Delmas V., Lorillère R., Servais V, Teillac-Deschamps P.,2007. Nouveaux Animaux de Compagnie relâchés en milieu urbanisé : comment gérer ces introductions non classiques ? L'exemple de la tortue de Floride. 13eme Forum Des Gestionnaires Espèces Exotiques Envahissantes : Une Menace Majeure Pour La Biodiversité Mnhn – Paris.

Pielou, E. C.,1977. *Mathematical Ecology*. Wiley, New York

Pumain.D. et al., 2006, *Dictionnaire la ville et l'urbain*, collection villes

Pulliam H.R., 1988, « source sinks and population régulation » *American naturalist*, n°132, p 652-661

- R -

Rafalimanana H.J., thèse 2003. Evaluation des insecticides sur deux types d'hyménoptères auxiliaires des cultures, l'abeille domestique (*Apis mellifera*) et des parasitoïdes de pucerons étude de terrain à Madagascar et de laboratoire en France. Thèse présentée à institut national agronomique de Paris-Grignon pour obtenir le diplôme de DOCTORAT.

Ramade.F., 2003, *Élément d'écologie, écologie fondamentale*, Dunod, Paris

Richardson, D. M., P. Pysek, M. Rejmanek, M. G. Barbour, F. D. Panetta, C. J. West (2000b). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* (6) :93-107.

Ricklefs.R.E et Miller.G.L, 2005, *Ecologie*, de boeck

- S -

Sacré C., Eliasson I., 2002. Wind characteristics in urban area and the climate of urban canyon. Proceedings Impact of wind and storm on city life and built environment, *COST Action C14*, Nantes, pp. 104-112.

Seeley, T.D. (1995) *The wisdom of the hive. The social physiology of honey bee colonies*. Cambridge : Harvard University Press.

Slabbekoorn H et Peet M 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424 : 267.

Shine C., William N., L. Gündling. 2000. Elaboration d'un cadre juridique et institutionnel relatif aux espèces envahissantes. *Centre du droit de l'environnement de l'IUCN*.

Sustek Z., 1987. Changes in body size structure of carabid communities (coleoptera, carabidae) along an urbanisation gradient. *Biologia (Bratislava)*, 42 : 145-156.

- T -

Tabacchi E. & Tabacchi A-M., Des espèces et des invasions biologiques, entre l'homme et la nature une démarche pour des relations durables.

Tabutin, 2000 ; *la ville et l'urbanisation dans les théories du changement démographique*, Texte publié sous la responsabilité de l'auteur

Teyssèdre A., (2004), « Vers une sixième grande crise d'extinctions ? », in Barbault R. et Chevassus-au-Louis B., (eds.), *Biodiversité et changements globaux. Enjeux de société et défis pour la recherche*, édition adpf, pp.24-36.

- V -

Venn SJ, Kotze DJ et Niemelä J 2003. Urbanization effects on carabid diversity in boréal forests. *European Journal of Entomology* 100 : 73-80.

- W -

Wilson P.J. & Aebischer, N. J., 1995. The distribution of dicotyledonous weeds in relation to distance from the field edge. *Journal of Applied Ecology*, 32: 295–310.

Site internet

<http://simulium.bio.uottawa.ca/bio3515/pdf/presentations/02-Biodiversite.pdf> consulté le 22/06/09

http://www.protection-nature.org/glossaire_ecologie.htm consulté le 22/06/09

http://www.rebent.org//medias/documents/www/contenu/pdf/document/Fiches_techniques/FT10-2003-01.pdf.

<http://earth.google.fr/> consulté le 22/06/09

<http://www.sdcma.org/docs/OGM-en-Afrique.pdf> consulté le 22/06/09

5.1. Liste des annexes :

Biens est service de la biodiversité	p82
Classement des 12 premières branches d'activité sur 62	P83

Annexe 1 : Biens et services de la biodiversité

Biens et services	Fonctions	Exemples
Régulation des gaz	Régulation de la composition chimique de l'atmosphère	Equilibre CO ₂ /O ₂
Régulation du climat	Régulation de la température globale, des précipitations et autres climatiques	Régulation des gaz à effet de serre
Régulation des perturbations	Réponses des écosystèmes aux fluctuations de l'environnement	Contrôle des inondations, résistance à la sécheresse, protection contre les tempêtes
Régulation du cycle de l'eau	Régulation des débits	Approvisionnement en eau pour l'agriculture (irrigation) ou l'industrie (moulins)
Approvisionnement en eau	Stockage de rétention de l'eau	Approvisionnement en eau par les bassins versants, les réservoirs, les aquifères
Contrôle de l'érosion	Rétention des sols dans les écosystèmes	Prévention de l'érosion par le vent, le ruissellement etc. stockage des sédiments dans les lacs
Formation des sols	Processus de formation des sols	Altération des roches et accumulation de matériel organique
Contrôle des nutriments	Stockage, recyclage transformation et acquisition de nutriments	Fixation de l'azote et du phosphore ou d'autres éléments nutritifs
Traitement des déchets	Récupération des nutriments mobiles, dégradation des composés en excès	Contrôle des pollutions, traitements des déchets, désintoxication
Pollinisation	Mouvements des gamètes floraux	Fourniture de pollinisateurs pour la reproduction des plantes
Contrôle biologique	Régulation des populations à travers les chaînes trophiques	Contrôle de proies par des prédateurs clés, contrôle des herbivores par des carnivores
Refuge	Habitat pour des populations résidentes ou de passages	Nurserie, habitat, pour espèces migratrices, etc.
Production de nourriture	Proportions de la production primaire brute qui est utilisable pour la nourriture	Production de poissons, de gibiers, de fruits, de graines, etc.
Matériaux	La proportion de la production utilisable sous forme de matériaux	Production de bois de grume, de fuel, de fourrage
Ressources génétiques	Source de matériel biologique et de substances naturelles	Médecine, gène de résistance pour l'agroalimentaire, espèces ornementales, etc.
Loisir	Fournir des opportunités pour des activités de loisirs	Ecotourisme, pêche sportive, et autres activités de plein air
Culture	Fournir des opportunités pour des usages non commerciaux	Valeurs esthétique, artistique, éducative, spirituelle ou scientifiques des écosystèmes

Annexe 2 : classement décroissant des 12 premières branches d'activités des 62 en fonction de leur dépendance globale directe au monde vivant

Branche d'activité	% de dépendance moyenne du chiffre d'affaire	% de dépendance moyenne de la matière première	% de dépendance moyenne des impacts	% de dépendance moyenne de la technologie	% de dépendance moyenne globalement
Agriculture chasse	84,7	99,7	67,5	21,2	68,3
Pêche aquaculture	88,5	99,5	48,7	22,5	64,8
Industrie alimentaire	61,2	94,7	35	38,7	57,4
Sylviculture	86	99,7	28,7	5	54,9
Industrie du tabac	57,5	98,2	42,5	1,5	49,9
Industrie du papier et du carton	58,7	75	38,7	2,5	43,8
Travail du bois et exploitation	48,7	94,75	11,2	1,5	39,1
Industrie textile	46,2	50			35,6
Industrie du cuir et de la chaussure	45	50	43,7	2,5	35,3
Industrie Chimique et pharmaceutique	31,2	28,7	60	16,2	34,1
Recherche et développement	37,5	45	21,2	320	33,4
Extraction de houille de lignine et de tourbe	20	17,7	81,2	10	32,3